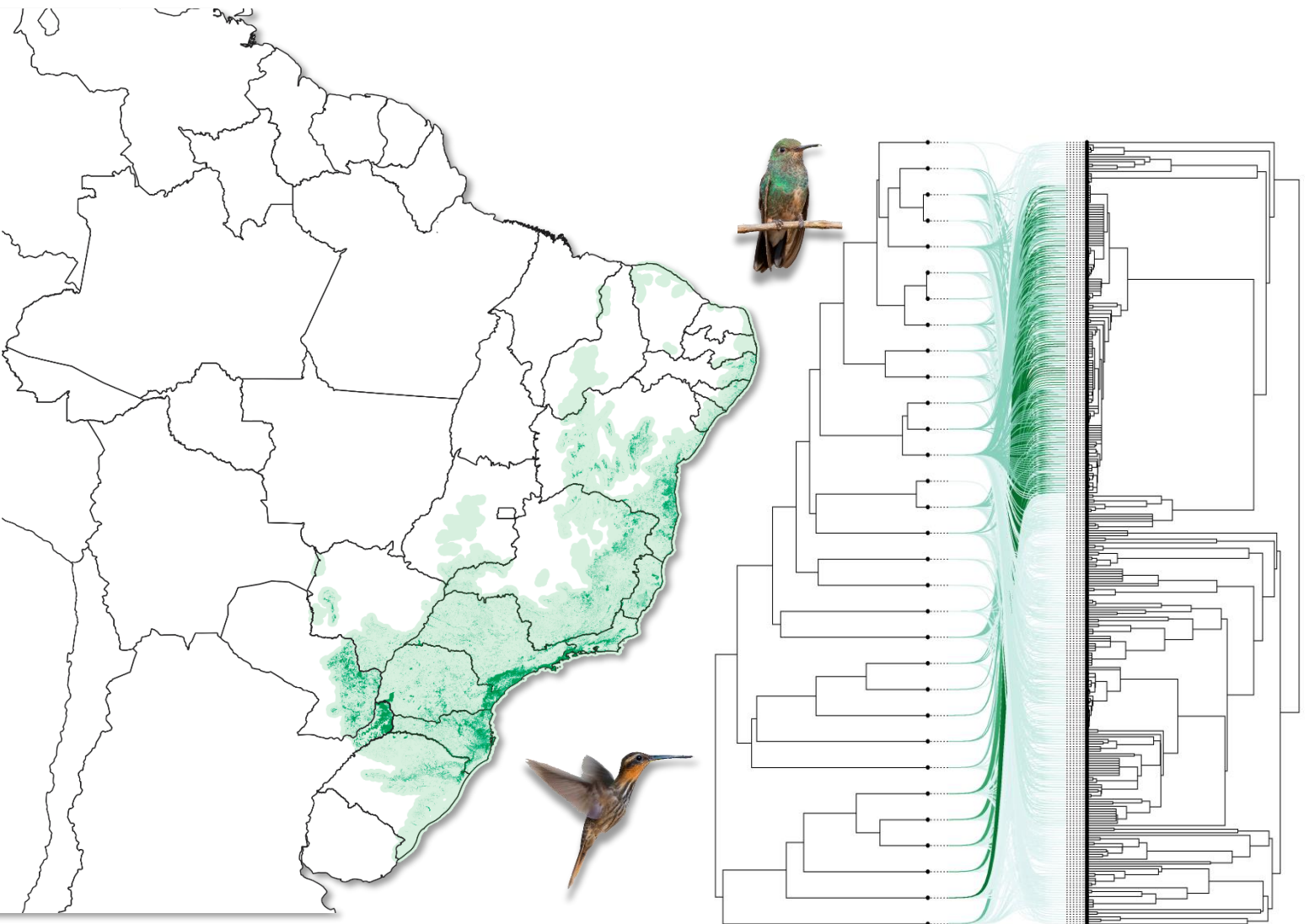


Joice Iamara-Nogueira

Organização das comunidades de flores e polinizadores vertebrados na Mata Atlântica brasileira

Organization of communities of plants and vertebrate pollinators in Brazilian Atlantic Rainforest



São Paulo

2020

Joice Iamara-Nogueira

Organização das comunidades de plantas e polinizadores
vertebrados na Mata Atlântica brasileira

Organization of communities of plants and vertebrate pollinators in
Brazilian Atlantic Rainforest

Tese apresentada ao Instituto
de Biociências da Universidade de São Paulo,
para a obtenção do título de Doutor em
Ciências, na área de Ecologia

Orientadora: Prof. Dr. Astrid de Matos Peixoto Kleinert

São Paulo

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Iamara-Nogueira, Joice. Organização das comunidades de plantas e polinizadores vertebrados na Mata Atlântica brasileira/Joice Iamara Nogueira; orientadora: Astrid de Matos Peixoto Kleinert. 114 páginas.

Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia.

1. Interações biológicas 2. Mutualismo 3. Cofilogênias I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Ecologia.

Comissão Julgadora

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Orientadora

DEDICATÓRIA

*Para minha mãe, Elenita e para meu pai, José
Por nunca duvidarem e sempre me apoiar*

EPÍGRAFE

Mittler zwischen hirn und händen muss das herz sein

O mediador entre a cabeça e as mãos deve ser o coração

Maria

(Thea von Harbou. **Metropolis**. São Paulo: Aleph, 2019)

AGRADECIMENTOS

Em 1927, Thea von Harbou lançou o livro *Metropolis*, lançado em filme no mesmo ano por seu então marido Fritz Lang. O filme foi a produção cinematográfica europeia mais cara até então e é considerada um dos grandes expoentes do expressionismo alemão. No entanto, Fritz Lang não gostou de ter gravado o filme pois, em suas palavras, *“você não pode fazer um filme com consciência social no qual você diz que o mediador entre a mão e o cérebro é o coração. Digo, isso é um conto de fadas, sem dúvida. Mas eu estava muito interessado nas máquinas...”*. Lang pode estar certo sobre fazer filmes, mas sobre fazer essa tese, eu tenho que concordar com a Sra. Von Harbou: a transformação das ideias e informações contidas no meu cérebro até este material feito pelas minhas mãos só foi possível por intermédio do coração. E por coração, eu me refiro às pessoas que por motivos diversos estiveram presente e colaboraram com a realização desta tese. Esta sessão é dedicada a elas.

Primeiramente, meu agradecimento vai para a Silvana. Sou grata por tudo que aprendi com você ao longo destes quase dez anos. Seu conhecimento e seu amor por este sistema tão bonito é uma das razões que me faz querer estar na Ciência e aprender cada vez mais. Além disso, você sempre soube ver a pessoa por trás da cientista e me ensinou a respeitar meus limites, sem cobranças e julgamentos. Você soube dar os conselhos certos e é devido a você que hoje eu termino este doutorado com belos resultados.

Agradeço também a Astrid, que me apoiou durante este período e sempre foi muito atenciosa com as necessidades burocráticas e contribuiu muito com este trabalho no decorrer do processo. Aproveito aqui para agradecer aos membros do meu comitê, Isabel Alves dos Santos e Marcelo Aizen. Seus conhecimentos ajudaram a enriquecer minha pesquisa e me tornaram uma pesquisadora um pouco melhor.

O Capítulo 1 da tese não seria possível sem todos os colaboradores que tivemos ao longo do processo. Agradeço primeiramente ao Prof. Mauro Galetti, que deu início ao “ATLANTIC Research Team” e que nos sugeriu a iniciar o compilamento de dados para os polinizadores vertebrados. Em sequência, quero agradecer a todos os pesquisadores que trabalham ou trabalharam com este sistema e que compartilharam seu

conhecimento conosco e com toda a comunidade científica. Cada contribuição individual foi essencial para este trabalho. Em destaque, quero agradecer a Natalia Targhetta que esteve ao meu lado, adicionando e padronizando os dados para formar o banco de dados. Listo a seguir o nome de meus co-autores nesta empreitada: Alessandra Ribeiro Pinto, Aline Coelho, Ana Maria Rui, Andrea Araujo, Ariadna Valentina Lopes, Brenda Pereira Silva, Bruna Bertagni Camargo, Bruna Borges Moraes, Caio Graco Machado, Caio César C. Missagia, Danilo Boscolo, Erich Fisher, Évellyn Silva Araújo Oliveira, Gina Chabes, Henrique Gava, Hipólito Ferreira Paulino Neto, Isabel Cristina Machado, Isabela Galarda Varassim, Ivan Sazima, Jeferson Vizentin-Bugoni, Jéssica Luiza Souza e Silva, Julia O. Ferreira, Karoline Baptista de Lima, Kayna Agostini, Leandro Freitas, Lívia Maria de Paula, Luciano Elsinor Lopes, Ludimila Juliete Carvalho Leite, Marcia Alexandra Rocca, Marcia Malanotte, Maria Alice S. Alves, Maria Elisabete Canela, Maria Rosa Darrigo, Marina Muniz Moreira, Marina Woloswki, Marlies Sazima, Milton Groppo Jr., Milton Ribeiro, Miriam Kaheler, Oswaldo Cruz Neto, Patricia Alves Ferreira, Paulo Wesley Martins Moraes, Pedro Joaquim Bergamo, Pietro Kiyoshi Maruyama, Raquel Bueno, Roberta Leal, Rogerio Faria, Simone Bazarian Vosgueritchian e Tiago Simões Malucelli.

Da mesma forma, o segundo e desafiador Capítulo 2 não teria sido possível sem algumas das pessoas mais inteligentes com quem tive o prazer de trabalhar. *Marcelo, gracias por tenerme en su laboratorio y por proporcionar herramientas para responder mis preguntas. Espero volver a trabajar contigo pronto. Gabi, muchas gracias por enseñarme análisis que siempre pensé que no podría aprender y por hacer mi estadía em Bariloche muy agradable. Te extraño a ti y a tu hermosa familia.* Agradeço também ao Gustavo (ou como prefiro chamar, Ari), por seus conselhos valiosíssimos sobre como seguir e, principalmente, como não seguir com este trabalho! Agradeço também ao Prof. Jimmy McGuire por fornecer a árvore filogenética dos beija-flores. Sem ela, este trabalho não teria sido possível. Listo a seguir o nome de meus co-autores nesta empreitada: Marcelo Aizen e Gabriela Gleiser (Argentina), Jimmy A. McGuire (Estados Unidos da América), Gustavo Burin e Silvana Buzato (Brasil).

Agradeço ao CNPq pela bolsa e por financiar este projeto de pesquisa, número do processo: 140235/2016-7. Agências de fomento são extremamente importantes para o desenvolvimento do país e precisam ser defendidas.

Quero agradecer também aos funcionários do departamento de Ecologia, principalmente a Vera e a Shirlene que salvam a vida dos pós-graduandos e são sempre solícitas em nos ajudar. Agradeço também a Lenilda, que nos ajuda sempre com a organização do laboratório e em tudo mais que for necessário.

Agradeço ao Rodrigo Conte por ter fornecido as fotos dos beija-flores *Amazilia fimbriata* e *Ramphodon naevius* presentes na introdução geral e que ilustram a capa desta tese.

Outra parte importante do departamento de Ecologia que merece muitos agradecimentos é o corpo discente. Vocês foram extremamente companheiros durante esse período. Agradeço aos representantes discentes pelo trabalho que fizeram, sempre pensando no melhor interesse dos alunos. Agradeço também à Comissão PROEX e a todos os membros que fizeram parte da comissão junto comigo: Diana, Morma, Rena, Rodolfo, Natcho, Luanne, Diego, João, Soly, Mila, Duda, Chico, Pâmela... aprendi e me diverti muito com vocês. Agradeço também à Comissão de Organização da Ecoescola por ter me dado a oportunidade de participar das orientações de jovens maravilhosos e renovar meu fôlego durante o doutorado. Além disso, agradeço a todos que vem fazendo esse período de reclusão um pouco mais suportável, seja com as aulas de ioga da Soly ou com o “Gartic da quarentena”. Agradeço ao grupo de *Mindfulness* que me ajudou imensamente nesta última fase do doutorado, em especial a Margareth Tredice que nos ajudou por pura bondade no coração. Aqui cabe também meu profundo agradecimento a Edna, minha querida Edna, que me ensinou muito sobre mim mesma e como a me amar e me respeitar.

Há algumas pessoas que a vida nos trás e que, sem elas, tudo seria muito diferente. Pam, agradeço por ser a companheira que sempre foi, você é uma pessoa maravilhosa. Adorei trabalhar com você e espero novas parcerias. Erika e Re, obrigada pelos conselhos sempre pertinentes nos momentos de angústia e por serem tão divertidas. Amanda, nossa amizade vai ser sempre algo extremamente importante para

mim, não importa o quão próximas ou distantes estamos. Aprendi muito com você a como ser uma pessoa melhor e por isso eu agradeço. Eu amo todas vocês.

Lucas, obrigada por estar comigo durante os bons momentos e me apoiar durante os maus momentos. Obrigada por aliviar a cobrança, a pressão e a culpa eu coloco em mim mesma e por apontar as minhas qualidades quando eu insisto em duvidar de mim. Obrigada por estar por perto. Te amo muito.

Por fim, agradeço a minha família. Agradeço aos meus pais, Elenita e José, que mesmo sem ter o ensino básico, são pessoas extremamente inteligentes e que me inspiraram para chegar até aqui. Eles nunca duvidaram de mim e sempre apoiaram minhas decisões. Essa tese também é de vocês, pois a educação que vocês me deram foi o que permitiu que ela existisse. Agradeço também a minha irmã Janaína, ao meu cunhado Luciano e a minha sobrinha, Julia, que foram sempre solícitos quando eu precisei de favores burocráticos e que são sempre assim quando eu preciso de qualquer coisa. Vocês são as pessoas mais importantes na minha vida e agradeço a Deus por vocês existirem.

RESUMO

As interações entre espécies são extremamente importantes para a estrutura da comunidade porque elas influenciam o padrão de coexistência e a ocorrência de clados em determinadas áreas. Nos Neotrópicos, plantas e polinizadores vertebrados representam exemplos de história natural e interação biótica e são usados para interpretar resultados ecológicos e evolutivos complexos em florestas tropicais. O primeiro capítulo desta tese trata da organização e construção de um banco de dados para a interação entre flores e vertebrados polinizadores na Mata Atlântica da América do Sul. Apesar deste Bioma estar distribuído até a Argentina e Paraguai, não encontramos registros desta interação nestes países. Verificamos também que há um forte viés nas amostragens, sendo que áreas de floresta localizadas no Rio de Janeiro e São Paulo contêm a maior parte dos registros. Observamos que, no geral, as características de flores – grande variação na tamanho da corola, baixa produção de néctar e baixo número de visitantes – e vertebrados – baixo número de plantas visitadas – favorecem a especialização neste sistema de polinização. Para beija-flores, as plantas visitadas por eremitas recebem visitas de menos espécies do que não-eremitas. As características de plantas e vertebrados envolvidos na interação não apresentaram influência de fatores ambientais, indicando que fatores bióticos pode ser mais importante para estruturar as comunidades. No segundo capítulo, baseado nas diferenças na distribuição das interações entre os eremitas e não eremitas nos questionamos se assimetrias nas interações entre as duas guildas poderiam ser percebidas na estrutura co-filogenética das comunidades. Esperávamos que a origem precoce dos eremitas e sua interação fiel a certos grupos de plantas pudessem gerar forças de interação mais forte do polinizador para a planta (assimetrias maiores), sendo sua marca histórica mais evidente que nas interações entre os não eremitas e suas flores. Nos amostramos as interações entre flores e beija-flores em uma metaweb composta por 327 espécies nativas de plantas, 31 espécies de beija-flores (26 não eremitas e cinco eremitas) e 1102 interações na Floresta Atlântica brasileira. A interação com sinal co-filogenético mais forte envolve as flores da família Bromeliaceae e os beija-flores eremitas, ao passo que para a interação entre não eremitas e flores, o sinal co-filogenético é praticamente ausente. Portanto, este estudo revela que os sinais cofilogenéticos nas redes de interação mesmo dentro do mesmo taxon pode ser distinto. Para beija-flores e flores residentes da Floresta Atlântica, os sinais de históricos de coevolução podem ser registrados somente para a interação entre eremitas. Para os não eremitas, não é possível registrar sinais históricos nas interações ecológicas contemporâneas.

Palavras-chave: Interações biológicas, mutualismo, cofilogenias, especialização, eremitas, não eremitas.

ABSTRACT

Interactions between species are extremely important for community structure because they influence the pattern of coexistence and the occurrence of clades in certain areas. In the Neotropics, plants and vertebrate pollinators represent examples of natural history and biotic interaction and are used to interpret complex ecological and evolutionary outcomes in tropical forests. The first chapter of this theses is the organization and construction of a database for interactions between flowers and pollinating vertebrates in the Atlantic Forest of South America. Although this Biome is distributed to Argentina and Paraguay, we did not find data of the interaction outside Brazil's boundaries. We also found that there is a strong bias in the sampling, with forest areas maturing in Rio de Janeiro and São Paulo determined most of the records. We observed that, in general, the characteristics of flowers – great variation in the size of the corolla, low production of nectar and low number of visitors – and vertebrates – low number of plants visited – favor the specialization in this pollination system. For hummingbirds, plants visited by hermits has fewer visitor species than plants visited by non-hermits. The characteristics of plants and vertebrates involved interaction has no influence of environmental factors, indicating that biological factors may be more important to structure as communities. In the second chapter, based on the differences in the distribution of interactions between hermits and non-hermits, we questioned whether asymmetries in the interactions between the two guilds are perceived in the co-phylogenetic structure of communities. We expected that the early origin of the hermits and their faithful interaction with certain groups of plants could generate frames of stronger interaction from the pollinator to the plant (larger asymmetries), their historical mark being more evident than in the interactions between non-hermits and their flowers. We sampled as interactions between flowers and hummingbirds on a metaweb composed of 327 native species of plants, 31 species of hummingbirds (26 non-hermits and five hermits) and 1102 interactions in the Brazilian Atlantic Forest. The interaction with a stronger co-phylogenetic signal involves flowers from the Bromeliaceae family and hermit hummingbirds, whereas for an interaction between non-hermits and flowers, the co-phylogenetic signal is practically absent. Therefore, this study reveals that cophylogenetic signals in the interaction networks even within the same taxon can be distinct. For hummingbirds and flowers resident in the Atlantic Forest, signs of historical coevolution can be recorded only for an interaction between hermits. For non-hermits, it is not possible to record historical signs in contemporary ecological interactions.

Keywords: Biological interactions, mutualism, cophylogenies, specialization, hermits, non-hermits.

ÍNDICE

Introdução geral	12
Capítulo 1. Vertebrate-pollinated floras: A flower-vertebrate interaction dataset from the Atlantic Forest of South America	22
Introduction.....	22
Metadata.....	25
Class I. Data set descriptors.....	25
A. Data set identity.....	25
B. Data set identification code.....	25
C. Data set description.....	25
D. Keywords.....	26
E. Description.....	26
Class II. Reserch origin descriptors.....	30
A. Overall project description.....	30
B. Data limitations and potential enhancements.....	35
Class III. Data set status and accessibility.....	37
A. Status.....	37
B. Accessibility.....	37
Class IV. Data strutural descriptors.....	37
A. Data set file.....	37
B. Variable information.....	38
Class V. Supplemental descriptors.....	47
A. Data acquisition.....	47
References.....	50
Figures.....	67
Capítulo 2. Evolutionary inferences on the community organization of flower-hummingbird interactions in the Brazilian Antlantic Rainforest	75
Introduction.....	75
Materials and Methods.....	79
1. Study Site.....	79
2. Study System.....	80
3. Plant-hummingbird interaction data.....	81
4. Hermit and nonhermit pollination classification.....	81
5. Latitudinal and altitudinal data.....	81
6. Plants and birds´ phylogenetic trees.....	82
7. Relative importance of history and ecology to the organization of hermits and nonhermits-flower interactions.....	83
Results.....	85
Discussion.....	87
References.....	91
Table and Figures.....	98
Supplementary materials.....	103
Discussão geral e conclusões	110

INTRODUÇÃO GERAL

Essa é um conto sobre a Mata Atlântica. Mas essa também é uma história, mesmo que incompleta, dos beija-flores e suas plantas na Mata Atlântica. Para mim, essa foi uma história que levou mais de quatro anos para ser escrita e que traz um final cheio de informações e que ainda não é bem um final. Espero que goste!!

Éra uma vez um bioma chamado Mata Atlântica. Este bioma surgiu há muitos e muitos anos, cerca de 58 a 55 milhões de anos atrás e costumava ser enorme, ocupando uma área de 150 milhões de hectares. Apesar de estar presente na Argentina e no Paraguai, a maior parte da Mata Atlântica está no Brasil, ocupando quase todo o território brasileiro em várias altitudes, desde pertinho do mar até as maiores altitudes do país. Por causa disso, existe uma grande variedade nas condições climáticas em diferentes áreas da Mata Atlântica, sendo que em lugares mais altos as temperaturas são frias e em locais mais baixos as temperaturas são mais quentes. Além disso, a grande extensão da Mata Atlântica permitiu que um grande número espécies diferentes se originasse nela. Muitas dessas espécies nunca saíram da Mata Atlântica e são, portanto, exclusivas dela – ou endêmicas, se quiser usar um termo mais chique. Todas essas espécies vivem juntas e interagem entre si e com o ambiente ao seu redor, constituindo uma comunidade. Parece ser um local fascinante, não? Porém, quando uma espécie exótica (*homem*) – que se originou em outro local – chegou na Mata Atlântica, sua ocupação não planejada levou a quase destruição desta floresta, restando hoje de 11% a 16% de sua área original¹. Muito deve ter sido perdido neste processo. Mas apesar disso, a Mata Atlântica continua sendo um local fascinante, com muitas espécies exclusivas, fazendo com que ela seja considerada um dos locais com maior biodiversidade do mundo. Nessa história que vou contar, quero convidá-lo a conhecer uma pequena parte desse bioma. Uma parte que pode nos ajudar a conhecer melhor as maravilhas do local e compreender como essa grande comunidade foi organizada.

¹ Ribeiro, M. C., J. P. Metzger, A. C. Martensen, F. J. Ponzoni, M. M. Hirota, M. Cezar, J. Paul, A. Camargo, and F. Jorge. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142:1141–1153.

De tudo que eu poderia falar sobre a Mata Atlântica – e acredite, há muito o que se dizer – gostaria de contar um pouco sobre as interações biológicas. De modo simplificado, as interações biológicas são caracterizadas por relações entre seres vivos que têm um impacto – positivo ou negativo – para a sobrevivência e reprodução dos membros envolvidos. Um exemplo de interação com um impacto negativo para um dos envolvidos é o da onça-pintada (*Pantera onca*) com a anta (*Tapirus terrestris*), no qual a onça sai ganhando – no caso, alimento – e a anta sai perdendo – no caso, a vida! Mas não se preocupe, não haverá ninguém perdendo a vida nesta história por conta das nossas interações, pelo menos não diretamente. A interação na qual estamos interessados é o das plantas com seus polinizadores. Essa interação é extremamente importante por diversos motivos: ela é essencial para a reprodução de boa parte das plantas e para a manutenção dos organismos a longo prazo na comunidade. Além disso, ela também influencia a existência de grupos em uma área e, portanto, a estrutura das comunidades. Sei que estou introduzindo vários termos técnicos, então antes de continuar com a nossa história, preciso explicar algumas coisas. Mas não se preocupe, será bem interessante!!!

Bom, todos sabem que as plantas não andam. Talvez nem todos saibam que as plantas são seres vivos, justamente por causa dessa aparente inatividade delas. Além de não andar, elas também não produzem sons audíveis, elas se alimentam de forma que não possamos enxergar (mas sim através de reações químicas chamada fotossíntese), elas não ficam felizes quando você chega em casa... mas sim, elas estão vivas e se reproduzem. E, assim como vários outros seres vivos, as plantas se reproduzem principalmente de forma sexuada. Não, não precisa ruborizar. Em biologia, a palavra sexuada simplesmente significa que há junção de gametas dos pais. Mas o que são gametas, você me pergunta. Gametas são células que existem simplesmente para realizar a fecundação e originar um novo ser vivo. Vou usar um exemplo mais próximo do nosso, a espécie humana – *Homo sapiens sapiens* – no qual os gametas femininos são os óvulos e os masculinos são os espermatozoides. Primeiramente, é necessário aqui informar que as flores são, na verdade, as estruturas reprodutivas das plantas e, na grande maioria dos casos, a estrutura masculina – androceu – e a feminina – gineceu – estão presentes na mesma flor. No gineceu são produzidos os gametas femininos

também denominados óvulos e no gineceu, os gametas masculinos, conhecidos como pólen. A fecundação ocorre quando o pólen do androceu de uma flor é transportado para o gineceu de outra flor, aonde ele germina e alcança o óvulo. Neste momento você me interrompe e pergunta: mas se a flor normalmente tem as duas estruturas reprodutivas, ela não pode simplesmente passar o pólen para ela mesma? Bom, sim e algumas plantas fazem isso em um processo chamado autofecundação. No entanto, não é interessante para as plantas se autofecundarem em muitas condições ambientais, pois uma população de uma espécie tem mais chance de sobreviver se houverem vários indivíduos diferentes provenientes da fecundação cruzada, prontos para enfrentarem as adversidades do mundo. É aí que entra a polinização.

A polinização consiste neste transporte do pólen de uma flor para a outra e existem diversas formas no qual esse processo pode acontecer. Algumas plantas se aproveitam do vento: elas produzem um pólen bem levinho e soltinho que quando o vento bate, ele é espalhado pelo ambiente e eventualmente cai em uma nova flor. No entanto, esse processo pode ser bem incerto e normalmente na natureza não é bom ter tantas incertezas. Por isso, a maioria das plantas que produzem flores – cerca de 90% delas para ser mais exata – contam com uma ajudinha de alguns animais para que esse transporte ocorra. Bem legal esses animais, não? Bom, na verdade não. Na verdade, eles nem têm consciência de que realizam esse favorzão para as plantas. Os animais têm um interesse claro nessa relação: eles vão em busca de recursos que as plantas produzem e que podem servir de alimentos para eles. Néctar, óleos e o próprio pólen as vezes. As plantas, inclusive, investem muita energia em produzir não só esses recursos, mas também formas de atrair esses animais. Por exemplo, a cor das pétalas das flores pode chamar a atenção dos animais para elas. A produção de odores também é uma forma de atrair alguns animais. Assim como os animais, as plantas também não têm consciência das coisas que fazem para atrair os animais. Tudo isso acontece devido a um processo chamado de evolução por meios da seleção natural.

Quem elaborou essa ideia da evolução por meio da seleção natural foi um pesquisador bem conhecido, que você já deve ter ouvido falar, principalmente se tem um biólogo na família (o que não deve ser muito difícil). Esse pesquisador chamava Sir Charles Darwin. Darwin sempre teve um interesse pela história natural, mas o pai dele

queria que ele fosse médico. Ele até chegou a ir para a faculdade de medicina, mas o pobre Darwin mal podia ver sangue que passava mal. Furioso, o pai dele o enviou para estudar artes, o que na época era o primeiro passo para se tornar um clérigo. Enquanto na faculdade de artes, ele cultivou diversas práticas naturalistas, como colecionar besouros e também conheceu um botânico chamado Henslow, de quem ficou muito amigo. E foi Henslow que convidou Darwin para um rolê que ia mudar sua vida: uma viagem a bordo do *HMS Beagle*, um navio que partiu do Reino Unido com destino ao mundo, passando por várias áreas (inclusive na nossa Mata Atlântica) com o objetivo de explorar terras e mares por onde passasse. Essa viagem durou cinco anos! As observações feitas por Darwin durante sua viagem a bordo do *HMS Beagle*, principalmente observando um grupo de aves (chamadas de tentilhões) em Madagascar juntamente com outras informações que juntou ao longo dos anos o levou a elaborar sua teoria da evolução. Nela, ele diz o seguinte: não tem recurso pra todos os seres vivos na natureza e eles precisam competir entre si para conseguir esses recursos. Além disso, apesar de serem bem parecidos, há algumas pequenas diferenças entre os indivíduos de uma espécie. Quando eles competem entre si pelos recursos, essas pequenas diferenças podem ser decisivas ao determinar quem vai conseguir ou não o recurso. E isso, pode custar a vida ou a capacidade deles de se reproduzirem. Por exemplo, os tentilhões possuem variação no tamanho do bico, sendo que alguns são maiores que outros. Eles se alimentam de sementes, que por sua vez também possuem tamanhos diferentes. Se a natureza por algum motivo diminuir a quantidade de sementes pequenas, os indivíduos que possuem bicos menores têm uma desvantagem grande para conseguir esse alimento porque aquelas com bicos maiores irão consumir essas sementes de forma mais eficiente. E tem mais: se essas características forem herdáveis e passarem de geração para geração, tem-se o combustível para a evolução acontecer! Ah, apesar da teoria da seleção natural ser atribuída ao Darwin, um outro pesquisador chamado Alfred Russel Wallace chegou a conclusões semelhantes às de Darwin, o que fez com que a teoria que explica a evolução das espécies fosse de coautoria dos dois.

Com essas informações, já podemos voltar a nossa história. Apesar de eu ter falado um pouco sobre polinização, você certamente ouviu falar sobre isso. E provavelmente, a primeira coisa que vem à sua cabeça são abelhas. Mas essa história

também não é sobre as abelhas. Veja, as abelhas são as rainhas do processo de polinização, mas tem um outro grupo de animais que também é extremamente importante para a reprodução as plantas. Diferentemente das abelhas, este grupo de animais são vertebrados. A diferença básica entre eles e as abelhas (e todos os outros insetos, vermes, moluscos entre outros) é a presença de uma estrutura rígida chamada coluna vertebral. Neste grupo estão inclusos os peixes, os répteis, as aves, os anfíbios e os mamíferos. Um grupo bastante diverso. Eu imagino que neste momento diversas perguntas devem estar surgindo na sua cabeça: Mas quem são exatamente os animais vertebrados que polinizam as plantas na Mata Atlântica? Quais são as características desses animais? Quais são as características das flores? Quais são os animais que polinizam mais? Como todos esses polinizadores se organizam para obter o recurso alimentar? Essas questões também surgiram para mim e, para tentar responder todas elas, eu elaborei o Capítulo 1 dessa história. Nele, eu busquei na internet todos os trabalhos de pesquisa feitos desde 1948 até hoje na Mata Atlântica. Algumas pessoas com interesse e que observam este sistema também se juntaram a mim. Com as informações disponíveis, organizei as de modo que hoje podemos conhecer: o exato local onde o estudo foi realizado, quantos estudos estão disponíveis e como eles se distribuem por esta área de mata, em quais meses as plantas estavam com flor bem como a cor, o formato e o comprimento da flor, se esta tinha ou não odor, a produção de néctar entre outras características. Para os animais vertebrados, busquei informações sobre a massa corpórea e o tamanho do bico ou focinho. Também busquei informações da interação, como o local onde o pólen era depositado no corpo do animal, o comportamento do animal na flor e o número de visitas a uma flor específica considerando todas as visitas de um animal. Aqui é importante dizer que eu considerei apenas as informações que vieram da observação de campo da ocorrência das interações entre as flores e os animais. Além disso, eu também conversei com os pesquisadores da área para contribuírem com a construção deste banco de dados. Afinal de contas, eu organizei, conferi e padronizei todos esses dados, mas a Mata Atlântica é tão grande e tão diversa que é necessária muita gente para poder compreendê-la melhor e este é um trabalho de toda uma comunidade científica. Em seguida, todos esses dados foram comparados em busca de padrões que nos ajudassem a entender melhor como as flores e os polinizadores vertebrados são organizados na Mata

Atlântica. Eu mal posso esperar para ver os resultados disso tudo e espero que você me acompanhe até lá!

Mas calma, a história não acaba aí. De todos os vertebrados que visitam as plantas, um grupo em especial chama a atenção. São os beija-flores, aves que pertencem à uma família Trochilidae. E eles chamam atenção não somente porque são aves lindas, mas porque eles são importantes polinizadores dos Neotrópicos, ou seja, das áreas tropicais do Novo Mundo. Esses animais provavelmente surgiram na Eurásia, há cerca de 42 milhões de anos, mas hoje estão extintos por lá. Antes de serem extintos, há 22 milhões de anos eles vieram para a América do Sul e aqui se diversificaram e se dispersaram para toda a América. Existem hoje cerca de 331 espécies de beija-flores e, baseado nas características desses animais, eles eram classificados em duas subfamílias: Trochilinae e Phaethornithinae. Essa classificação permaneceu por muito tempo, mas descobertas recentes demonstraram que essa classificação não demonstrava a real história evolutiva do grupo, pois algumas espécies da subfamília Trochilinae não compartilham o mesmo ancestral que os outros beija-flores no mesmo grupo. Logo, eles não são considerados aparentados. Os beija-flores foram então divididos em nove clados. Você deve estar se perguntando se perdeu alguma coisa: Ancestral comum? Clado? Bom, vamos fazer uma nova pausa da nossa história para falar um pouco disso.



Quando se fala em evolução, normalmente o que vem na cabeça das pessoas é aquela imagem do macaco se tornando um homem. Essa imagem, na verdade, está incorreta. Você nunca verá uma espécie magicamente se transformando em outra. A evolução consiste em um fenômeno muito complexo, com vários processos ocorrendo simultaneamente ou não – entre eles, está a seleção natural de Darwin e Wallace – e gerando modificação em indivíduos e populações de indivíduos. Eventualmente, esses processos podem gerar a especiação, ou seja, a formação de novas espécies. Normalmente, a especiação ocorre quando uma população de uma espécie qualquer é separada por uma barreira geográfica. Vamos usar um exemplo para ficar mais fácil de entender. Vamos supor que exista uma espécie de tentilhão – vamos chama-la de A em homenagem a Darwin – que possui variação no tamanho do bico. O local onde essa espécie vivia separada em duas ilhas, bem diferentes entre si em vários aspectos, como o clima e até mesmo as outras espécies em cada local. Com isso, as duas populações de

A estão agora sujeitas a várias condições ambientais diferentes. Pelo processo de seleção natural, os indivíduos de bico maior vão ter vantagens em uma determinada ilha enquanto que os de bico menor, na outra. Além disso, pequenas mudanças no DNA dessas aves estão acontecendo o tempo todo, dando vantagens ou desvantagens para os indivíduos. Dado tempo suficiente, essas duas populações de tentilhões terão acumulado tantas diferenças que se colocadas juntos novamente, elas não conseguirão cruzar entre si e dar origem a novos descendentes. Assim, você tem a formação de duas espécies. Essas duas espécies – vamos chamar de *B* e *C* – possuem um ancestral em comum – a espécie *A* – e, portanto, são consideradas um clado. Um clado é formado por todos indivíduos que possuem um ancestral em comum.

Essas relações evolutivas que tentei explicar de uma forma simples (espero ter conseguido) normalmente levam muito tempo para ocorrer. Como nós não temos uma DeLorean para voltar no tempo, tudo que podemos fazer é tentar elaborar hipóteses de como essas histórias evolutivas teriam ocorrido. Fazemos isso através da comparação de características dos organismos com o objetivo de montar uma árvore filogenética. Antigamente, essas árvores, também chamadas de filogenias, eram montadas usando características morfológicas (formato do corpo ou da flor, por exemplo). Hoje em dia, são usados dados do DNA dos organismos, pois estes são mais confiáveis. Mas na falta de dados moleculares (DNA), a morfologia pode ser usada. Com essas informações em mãos, os pesquisadores organizam os organismos em grupos baseado nas características que eles compartilham e que são diferentes do ancestral que os originou. Quanto mais características compartilhadas, mais “aparentados” são os organismos. É possível também estimar quando as espécies se originaram se houver um fóssil datado do grupo. Com esses dados em mão, são gerados modelos matemáticos que são posteriormente testados para dar confiança para a árvore. No final, é produzida uma representação gráfica da qual podemos entender um pouco mais sobre a origem das espécies.

Agora, voltando aos beija-flores. Quando a gente olha com bastante atenção para esses organismos, a gente pode perceber que algumas espécies apresentam várias diferenças quando comparadas com outros. Essas diferenças nos permitem formar dois

grupinhos ecológicos de beija-flores: os **eremitas** e os **não eremitas**. As principais diferenças entre eles estão ilustradas no quadro abaixo²:

Não eremitas	Eremitas
	
Coloração iridescente	Coloração parda
Bicos com diversos tamanhos e retos	Bicos longos e curvos
Buscam alimento estabelecendo e defendendo território	Buscam alimento em rotas pré-definidas
Generalistas na exploração do recurso e de ambientes	Especialistas na exploração do recurso e de ambientes
Ampla distribuição geográfica	Encontrados especialmente em baixas altitudes e próximo aos trópicos

Você nem imaginava tantas diferenças, não é? O formato do bico faz com que eles possam visitar flores diferentes. Os eremitas, por ter um bico longo e curvo têm acesso a flores que vários dos não eremitas não têm, como por exemplo as heliconias, cujas flores parecem bananinhas. Além disso, os eremitas buscam o néctar visitando uma série de flores, em sequência, que eles escolhem no início do dia ao passo que os não eremitas escolhem um aglomerado de flores e ficam plantados no lugar, cuidando do seu recurso. Se algum beija-flor desavisado chegar no lugar do não eremita, ele é expulso violentamente. Bom... pelo menos isso é o que normalmente ocorre, mas na natureza as coisas raramente são fixas e os comportamentos dos beija-flores podem mudar dependendo da situação. Por causa dessas características, os eremitas são considerados mais especialistas, ou seja, que visitam poucas espécies de plantas que possuem determinadas características. Já os não eremitas são mais generalistas, pois eles acabam visitando flores de diversos formatos. Mas novamente, isso também não é fixo e alguns não eremitas podem ser especialistas também se eles tiverem a oportunidade e vice versa. Mas por que tudo isso é importante, afinal de contas? Essas características que eu mencionei fazem com que alguns grupos de espécies – aqueles mais especializados – interajam preferencialmente uns com os outros. Isso pode estar acontecendo porque as plantas e o beija-flores especializados evoluíram juntos. Quando esse processo de evolução conjunta acontece, as árvores filogenéticas – aquelas que

² Feinsinger, P., and R. K. Colwell. 1978. Community organization among neotropical nectar-feeding birds. *Amer. Zool.* 18:779–795.; Rodríguez-Flores, C. I., J. F. Ornelas, S. Wethington, and M. del Coro Arizmendi. 2019. Are hummingbirds generalists or specialists? Using network analysis to explore the mechanisms influencing their interaction with nectar resources.

comentei acima – desses grupos tendem a ser muito parecidas, quase um espelho uma da outra³! Super legal não? Infelizmente, isso só acontece em interações obrigatórias, como algumas interações entre parasitas e hospedeiro, no qual cada espécie parasita uma única espécie de hospedeiro. Para beija-flores e suas plantas, nós não iremos observar isso de modo tão marcado. Mas calma, não desanime. Apesar da gente não conseguir ver filogenias espelhadas, ainda é possível saber se houve evolução conjunta entre os grupos buscando pelo sinal cofilogenético. Se existir sinal cofilogenético entre duas árvores filogenéticas e se ela for maior do que o esperado ao acaso, é sinal de que os dois grupos evoluíram juntinhos!

Ufa, muita coisa né? Mas vamos resumir o que sabemos até agora: os beija-flores são divididos em dois grupos que possuem muitas diferenças entre si, o que faz com que eremitas sejam mais especialistas que os não eremitas. Além disso, os não eremitas são mais dispersos e podem ser encontrados em mais locais que os eremitas. Essas características que são diferentes entre os dois grupos de beija-flores podem ter sido resultado de uma evolução conjunta e elas fazem com que eles interajam de forma diferente com as plantas nas comunidades. Ao mesmo tempo, as interações são extremamente importantes para as comunidades pois elas determinam a configuração ou seja a estrutura da comunidade em termos de quem se relaciona com quem. Todos esses fatos me levaram a pensar em uma pergunta que originou o Capítulo 2: será que os dois grupos de beija-flores, considerando sua distribuição geográfica, ecologia e evolução, têm impactos diferentes para a estrutura das comunidades? Para tentar responder essa pergunta, eu busquei pelo sinal cofilogenético primeiramente entre plantas e beija-flores dos dois grupos considerando a Mata Atlântica como um todo. Mas como sabemos que os não eremitas são mais dispersos, posteriormente eu busquei o sinal cofilogenético entre plantas e beija-flores dos dois grupos em várias comunidades da Mata Atlântica, divididas em faixas altitudinais e latitudinais. Vou contar para vocês o que eu acho que vai acontecer enquanto a história se desenvolve: os eremitas vão apresentar um sinal cofilogenético maior do que os não eremitas,

³ Brooks, D. R. 1985. Historical Ecology: A New Approach to Studying the Evolution of Ecological Associations. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 72:660–660.

porque eles apresentam características mais especializadas. Com isso, esse grupo terá uma importância um pouco maior para a estrutura das comunidades, uma vez que as interações são mais antigas. Ao contrário, os não eremitas terão uma maior importância em comunidades nos quais os eremitas não estão presentes ou estão presentes em menor quantidade, como em altitudes mais elevadas e latitudes mais ao sul do Brasil. Isso acontece porque esse grupo de beija-flores é mais recente e mais generalista, e sua história evolutiva com as plantas não foi tão forte. Para responder essa pergunta e ver se minhas previsões estão corretas, eu peguei os dados que juntei lá no Capítulo 1. Primeiro classifiquei as plantas de acordo com o grupo de beija-flor que mais as visitam – eremita ou não eremita – e também dividi a Mata Atlântica em oito faixas latitudinais e cinco faixas altitudinais. Para ficar mais fácil de entender, tem um mapa no Capítulo 2 mostrando como essa divisão foi feita. Com as árvores filogenéticas das plantas⁴ e dos beija-flores⁵ em mãos, eu busquei pelo sinal cofilognético entre as duas árvores usando uma análise chamada PACo e depois eu calculei a força desse sinal com uma análise chamada Random Tapas. Essas análises também me falam quais espécies são aquelas cuja interação contribui mais com o sinal e, portanto, aquela cuja importância para a estruturação ou montagem das comunidades é maior.

Agora é hora de responder as nossas perguntas, entender como as interações entre plantas e vertebrados estão estruturadas na Mata Atlântica e ver como os diferentes grupos de beija-flores influenciam na estrutura das comunidades. Vamos lá?

⁴ Smith, S. A., and J. W. Brown. 2018. Constructing a broadly inclusive seed plant phylogeny. *American Journal of Botany* 105:302–314.

⁵ McGuire, J. A., C. C. Witt, J. V. Remsen, A. Corl, D. L. Rabosky, D. L. Altshuler, and R. Dudley. 2014. Molecular phylogenetics and the diversification of hummingbirds. *Current Biology* 24:910–916.

CAPÍTULO 1

VERTEBRATE-POLLINATED FLORAS: A FLOWER-VERTEBRATE INTERACTION DATASET FROM THE ATLANTIC FOREST OF SOUTH AMERICA

Iamara-Nogueira, J. et al. 2020 under revision by authors. It should be submitted up to the end of 2020.

Correspondence and requests for materials should be addressed to Joice Iamara-Nogueira or Silvana Buzato (email: joice.iamara@gmail.com; sbuzato@usp.br).

INTRODUCTION

In the American tropics, wild plant species and their visiting vertebrates provide some of the most remarkable examples of natural history and biotic interactions (Sazima et al. 1995a, Agostini et al. 2006, Muchhala 2006, Temeles et al. 2009, Simon et al. 2011, Fleming and Kress 2013). Mostly when plant visiting vertebrates feeds on nectar to obtain energy, they place pollen on conspecific stigmas as a by product of floral visits, then acting as pollinators (Frick et al. 2013). For flowering plants, the association between flowers and pollination by animals has been pointed out as one of the most important factor for clade diversification (Ricklefs and Renner 1994, Dodd et al. 1999, but see Kay and Sargent 2009). This assertion comes from the capacity of pollinators to promote floral isolation (Kay and Sargent 2009, Lagomarsino et al. 2017).

The majority of vertebrate pollinators are nectar feeding birds and mammals in the Trochilidae and Phyllostomidae families and, in spite of exhibiting relatively low taxonomic diversity (Fleming and Kress 2013), many studies of the relationship between flowers and nectar feeding vertebrates are used as a model to interpret complex ecological and evolutionary outcomes in tropical forests (Feinsinger et al. 1986, Tschapka 2004, Kay et al. 2005, Healy and Hurly 2013, Bergamo et al. 2017, Weinstein and Graham 2017). Up to now, bird and bat pollination are present on ca. 12% and 6% of the flowering families, respectively (Fleming and Kress 2013), and there are quite few records of other vertebrate acting as pollinators (Buzato et al. 2012, Ratto et al. 2018). The proportion of vertebrate pollinated plant families varies between plant lineage with

some lineages apparently more prone to display such interaction (Buzato et al. 2000, Fleming and Kress 2013).

The history of association between plants and vertebrate pollinators and differences in plant physiology to deal with energetic costs of rewarding large endothermic vertebrates might explain differences on the relative importance of vertebrate pollination within some plant lineages (Perret et al. 2001, Pyke et al. 2020). In addition, differences in morphology, physiology and behavior of vertebrates, even within sister clades, favor vertebrate potential to act as pollinators or larcenies (Feinsinger and Colwell 1978, Buzato et al. 2000, Boehm and Boehm 2018). When larceny occurs animal species obtain food rewards without transferring pollen on conspecific stigmas (Inouye 1980). Larceny can occur in vertebrate-pollinated floras, apparently with few costs to the plant or changes on the mutualistic network (Maruyama et al. 2015a, Richman et al. 2018).

Worldwide several animal species are threatened by anthropogenic disturbances (Pardini et al. 2009, Hadley et al. 2018), and contemporary rates of species extinction are revealed higher than most past extinctions (Barnosky et al. 2011). According to Regan et al. (2015), ca. 10% and 6% of the extant species of birds and mammals were identified as pollinators. Based on this assemblage, more species are moving toward extinction than away from it. When species are lost, services provided by them are also under threat (Anderson et al. 2011, Galetti et al. 2013). Recent data addressing this question to vertebrate pollinated species by excluding their visits from flowers, reported the production of fruits or seeds can drop by ca. 60% (Ratto et al. 2018). Considering most of vertebrate-flower interaction occurs in species-rich tropical communities and such communities may be more prone to pollen limitation because of interspecific competition for pollinators (Vamosi et al. 2006, Wolowski et al. 2013a), plants in those areas may have difficulties to keep demographic life stages important to populations viability (Schemske et al. 1994, Martinelli and Moraes 2013, Buzato 2014, Steege et al. 2015, Freitas et al. 2016, 2016).

Inside the Neotropics, the Brazilian Atlantic Forest is considered one of the five hottest hotspots on earth, with a great number of endemic plants and vertebrates (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2004) and providing a great number of ecosystem services, such as water and food source, raw material, climate regulation and others

(Joly et al. 2014). However, the Brazilian Atlantic Forest has only 11.4% to 16% of its original area (Ribeiro et al. 2009) due a long disturbance history since Brazil's colonization (Dean and Schwartz 1997, Joly et al. 2014). Fragmentation and habitat loss are considered the main causes of loss of global diversity (Foley et al. 2005, Butchart et al. 2010) and there have been declines in population trends in several groups of organisms (Butchart et al. 2010). Regan et al. (2015) showed in the past decades, bird and mammal pollinators have been moved to categories of higher extinction risk in IUCN Red List of Threatened Species, making necessary to look upon the interaction between plants and vertebrates pollinators. A recent meta-analysis made some evaluation on the importance of vertebrate pollinators for reproductive success of the plants they pollinated and the pollinator deficit increase under vertebrate extinction (Ratto et al. 2018). Despite the recognition of Atlantic rainforest as center of diversity and endemism (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2004) as well as the long research history with vertebrate pollination carried out in this biome (Snow and Snow 1972, Snow and Teixeira 1982, Sazima et al. 1996, 1999, Buzato et al. 2000, Rocca and Sazima 2008, Vizentin-Bugoni et al. 2016 to name a few), none was mention.

In this study, we compile information about vertebrate pollinated floras and focal observations of their interaction with vertebrate pollinators. The dataset was assembled from from 191 studies and 22 personal communications encompassing ca. 160 localities of Brazilian Atlantic Forest, representing 1920 unique interactions among 457 and 103 species of plants and vertebrates, respectively (Figure 1). With this dataset, we intend to organize ecological information also useful for evolutionary studies. We are also highlighting patterns that can be observed from the collected data and draw attention for this biome that, despite being well studied, has been ignored (Ratto et al. 2018). This manuscript is part of the ATLANTIC SERIES datapapers which represents effort to organize information on the biodiversity of Atlantic Forest (e.g. ATLANTIC-FRUGIVORY - Bello et al. 2017, ATLANTIC-BATS - Muylaert et al. 2017 and ATLANTIC-BIRDS - Hasui et al. 2018).

METADATA

CLASS I. DATA SET DESCRIPTORS

A. Data set identity:

Title: VERTEBRATE-POLLINATED FLORAS: A FLOWER-VERTEBRATE INTERACTION DATASET FROM THE ATLANTIC FOREST OF SOUTH AMERICA

B. Data set identification code:

Suggested Data Set Identity Codes:

ATLANTIC-vertebratepollination_plants.csv;

ATLANTIC-vertebratepollination_vert.csv;

ATLANTIC-vertebratepollination_int.csv;

ATLANTIC-vertebratepollination_refs.csv

C. Data set description:

Originators: Joice Iamara-Nogueira; Nátalia Targhetta, Gina Chaves and Silvana Buzato Universidade de São Paulo (USP-SP), Instituto de Biociências, Rua do Matão, Travessa 14, 321, Butantã, São Paulo, SP, Brazil.

Abstract: Wild flowering plant species and their vertebrate pollinators provide some of the most remarkable examples of natural history and biotic interactions in the Neotropics. In the Atlantic rainforests, a highly threatened Biome due to anthropogenic activities, several species of birds — specially hummingbirds, bats and other non-flying mammals as well as a few species of reptile are acting as pollinators and contributing to seed output of flowering plants. We present a dataset containing information on flowering plants pollinated by vertebrates sampled in 160 localities in Atlantic Forest. This dataset provides information about 1920 unique interactions among 457 species of flowering plants and 103 species vertebrate pollinators. All plant-vertebrate interaction came from field observations. No inferences of pollinators based on floral syndromes were included. We also provide information on the following floral traits: corolla length, nectar production and concentration, flower color and shape, time of anthesis, presence

or absence of odor and phenology. To the animals, IUCN classification, body mass, bill or rostrum size were also informed. Information on the frequency of visits and pollen deposition on the vertebrate's body were also informed as available. The highest number of unique interactions is registered for birds (1793) followed by bats (117). For plants, Bromeliaceae contains the highest number of unique interactions (614), followed by Fabacea (248) and Gesneriaceae (106). It is evident the geographical bias of the studies throughout the southeast of Atlantic Forest and the highest efforts to sample flower-hummingbird interaction. In addition, the lack of similar protocols among studies to collect basic data makes some comparison and generalization difficult. This dataset represents a huge effort to organize and highlight the importance of vertebrate pollinators on this hotspot of biodiversity on the earth. We hope this dataset can be used as a tool to help the design of new research and educational projects.

D. Key words: Atlantic Forest, Brazil, Floral traits, Flower-Vertebrate interaction, Vertebrate pollinators

E. Description: The dataset comprises ca. 160 localities in Atlantic Forest Biome (Figure 1), following Biome limits defined by Ribeiro et al. 2009 and Muylaert et al. 2017. The data set contains 1920 unique interactions among 457 identified plant species plus 21 unidentified plant species, and 103 identified vertebrate species plus 20 unidentified vertebrate species. There is a bias in the sampling effort related to the taxonomic groups and study localities. Studies involving only hummingbirds represent 57% of the dataset, while studies involving bats (alone or with another groups of vertebrates), which are also important pollinators of the Atlantic Forest flora, represent only 25%. Most of these studies were carried out in southeast of Atlantic Forest (Figure 2). Despite of the intense search for data, we couldn't find any register of pollination interaction by vertebrates in the portion of Atlantic Forest outside Brazilian boundaries (Figures 1 and 2). We also include in the dataset 46 exotic species in areas of Atlantic Forest, of which 28 do not occur in Brazil.

Plant species belong to 180 genera and 54 families. Bromeliaceae presents the highest number of interactions with 25 genera and 158 species, followed by Fabaceae with 18 genera and 33 species and Gesneriaceae with 6 genera and 33 species. Together,

these three families have almost 50% of all the species pollinated by vertebrates (Figure 3, A-B). Vertebrate species belong to 70 genera and 20 families. Most vertebrates are birds (81 species), followed by bats (13 species), primates (6 species), opossum (2 species) and lizard (1 species). The most representative families are Trochilidae with 24 genera and 41 species, Thraupidae with 12 genera and 19 species and Phyllostomidae with 10 genera and 13 species (Figure 3, C-D). By the distribution of the number of interaction.

Information on plant and animal traits relevant to the interaction such as flowering phenology or pollen placement on pollinator's body is not present for all species in the dataset (Table 1). For plants, the trait with more information is plant growth and with the least information is the species conservation status. For animals, few studies measured the features involved in the pollination. Most of the information came from taxonomic research. We couldn't find few information about tongue size, an important characteristic related to pollination, and data available is derived from inference (Vizentin-Bugoni et al. 2016). Observation time of floral visitors on flowering plants was highly heterogenous from 48 minutes as the minimum time interval to 682 hours and 40 minutes as the maximum time interval. The frequency of visits was reported in only 61% of interactions (Table 1). It is also interesting to realize that most of the quantitative measure of plant features (corolla length and nectar volume and concentration) is related to bird visitors while qualitative description of flower features (anthesis time, color, shape and presence or absence of odor) are related to bat visitors (Figure 3).

Most species of plants pollinated by vertebrate flowered during three to five months which represents an extended flowering pattern. In addition, most of flowering species contained small amounts of nectar energy per flower (Figure 4 A-C). Based on both attributes — flowering phenology and nectar energy per flower, the resource base for vertebrate pollinators in the Atlantic forests seems to offer certain predictability to floral visitors by extended flowering, but motivate vertebrate pollinators to move among plants by offering them small amount of energy per flower. This fact should promote trap-lining foraging behavior of most vertebrate pollinators in this Biome. Corolla length of vertebrate flowers are more heterogeneous for hummingbirds than for bats and other birds, which might be associated to the higher diversity of bill shapes of

hummingbirds (Figure 4B). There was a convergence floral traits related to vertebrate pollinators (Figure 5), which might be related to the high energetic demand of all vertebrates (nectar energy explains most of the ordination in the first axis). Flowering period, energy per flower, number of interactions and body mass of vertebrate pollinators did not show a trend to vary with the environmental variables temperature, precipitation and elevation (Figure 6). Despite most studies were carried out in southeast of Atlantic Forest, sampled study areas represent well the climatic and elevation metrics of the Atlantic rainforest of South America.

Relative frequency of visits were not correlated for total number of interactions among sites (Figure 7A). Some communities with few interactions can have high relative frequency. This could be related to the species composition within community (Supplement material — ATLANTIC-vertebratepollination_int.csv), where the nature of species composition within communities determine the total number of interactions. The plant species with the greatest number of interactions is *Erythrina speciosa* Andrews (Fabaceae) with 60 registered interactions. However, this species interacts only with birds (23 species). The plant species interacting with a greater variety of vectors is *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae), which interacts with five species of birds, four species of bats, three species of primates and 2 species of opossum. Despite the great variety of interactors, there are only 15 registered interaction for this species. The bird species with the highest number of interactions is *Thalurania glaucopsis* (Gmelin, 1788) with 210 unique interactions and the bat species is *Anoura caudifer* (É. Geoffroy, 1818) with 33 unique interactions. Other groups of pollinators besides birds and bats have few records of interaction, so that our next preliminary analyses will be focused on these two groups. Phylogenetic similarity within community is very low as pointed out by values below 0.4, following a trend to phylogenetic dispersion within areas (Figure 7B). Total number of interactions among sites were not correlated for phylogenetic similarity within communities. There is a trend to keep similar total number of interactions per site, independent of variation in phylogenetic similarity within communities. The same is true when relative frequency of visits (median) is plotted against phylogenetic similarity within communities (Figure 7C). The results are valid for both vertebrate groups.

The distribution of both the number of vertebrate species per plant and the number of visited plant species per vertebrate species indicated a pattern of pervasive specialization in the Atlantic rainforests. Both, low median and overall distribution of vertebrate pollinators per plant support that specialization describes better the flower-vertebrate interaction than generalization. In special, for hummingbirds, the number of hermit species per plant were lower than non hermit as well hermits more species in the Atlantic rainforests than non-hermits (Figure 8). So, generalization seems to be not the norm for vertebrate pollinated plants and vertebrate pollinators in the Atlantic rainforests. As message, better understanding of the ecology and evolution of vertebrate-flower interaction will require increased sampling of communities. There is so many places to be sampled throughout the Atlantic rainforest of South America. It is our challenge to safeguard this area. The distribution of the plant-pollinator interactions can help us to untangled many questions and could help us understand community properties such as resilience necessary support the anthropogenic perturbations.

Table 1. Summary of trait information presented in the flower-vertebrate interaction dataset.

For each trait we show the number of species presenting the information and the percentage of knowledge of each trait (n° of species with the information/n° of all plants/animal/interaction in the dataset). For description of the traits, see the variable information section. *Data estimated by bill size.

	Traits	n° species	% knowledge
PLANT	Presence in the CNC Flora List	133	29
	Flowering start month	403	88
	Flowering period	406	89
	Plant growth	454	99
	Flower color	415	91
	Flower shape	426	93
	Presence or absence of odor	254	56
	Anthesis time	328	72
	Mean corolla length (mm)	338	74

	Standard deviation of corolla length (mm)	300	66
	Mean nectar production rate ($\mu\text{L/h}$)	259	57
	Standard deviation of nectar production rate ($\mu\text{L/h}$)	227	50
	Mean nectar concentration (%)	303	66
	Standard deviation of nectar concentration (%)	264	58
	Observation time	341	75
VERTEBRATE	Presence on IUCN list	95	92
	Mean body mass (g)	84	82
	Standard deviation of body mass (g)	30	29
	Mean bill or rostrum length (mm)	47	46
	Standard deviation of bill or rostrum length (mm)	30	29
	Mean tongue length (mm)*	9	9
INTERACTION	Body pollen deposition	1388	47
	Feeding behavior	2318	78
	Relative frequency of visits	1800	61

CLASS II. RESEARCH ORIGIN DESCRIPTORS

A. Overall project description:

Identity: Compilation of available data on pollination by vertebrates in Atlantic Forest, including information about plants and vertebrates related to the interaction.

Period of study: Dates of publication used as source range from 1949 to 2018.

Objectives: With this datapaper, we aimed to compile and make available information about pairwise interaction of flowers and vertebrates in the Atlantic Forest Biome, including traits of plants and animals that structure this interaction. We also aimed to highlight patterns observed through the compiled data and point out gaps and bias in the knowledge on the distribution of the interaction and sampling efforts. We hope that this datapaper will guide further studies on the interaction between plants and vertebrates and will be used as a baseline reference for future studies on the Atlantic Forest Biome.

Abstract: Same as above.

Sources of funding: See Acknowledgements

Site description: The Atlantic Forest Biome comprises tropical and subtropical vegetations, is highly diverse with complex climate conditions (Morellato and Haddad 2000). It is located mainly in Brazil's territory with small portions in Argentina and Paraguay (Morellato and Haddad 2000, Ribeiro et al. 2009). It supports 8% of the world's total species and is one of the areas with larger indexes of endemism (Morellato and Haddad 2000, Myers et al. 2000, Joly et al. 2014). As a result of its high complexity, the Biome presents high richness of plants (15519 species) (Zappi et al. 2015), birds (891 species) (Varzinczak et al. 2016) and bats (117 species) (Lima 2014). During its history, the Atlantic Forest suffered several types of exploitation and unplanned occupation, leading to the fragmentation of the biome (Dean and Schwartz 1997, Morellato and Haddad 2000) and to a remaining area corresponding to only 11.4% to 16% of the original extension (Ribeiro et al. 2009). In this dataset we considered studies performed in areas of forests and associated vegetation like restingas and Araucaria Forest (Scarano 2002) and rock outcrops (Safford 1999a, 1999b, Scarano 2002, 2007).

Data compilation: We collected data through unpublished and published studies in articles, book chapters and dissertations and PhD thesis. We searched for information in the following sources: online databases (Web of Science, Scopus, Scielo, Research Gate, JStore, Google Scholar and Mendeley), digital library of state and federal

universities and federal agency (CAPES), references cited in “gray” literature, references cited in other Atlantic papers (Muylaert et al. 2017, Hasui et al. 2018) and our own unpublished studies. We used the key words: “pollination + vertebrate”, “pollination + hummingbird”, “pollination + bat” and “pollination + hummingbird + bat”. We controlled the search from 1980 to 2017 and, posteriorly, we expanded the start period to 1948, due a milestone in literature represented by Stephan Vogel’s work with bats and others that we found on the cross references. In addition, we invited several specialists to contribute with their own published and unpublished data. We validated all the information comparing data sent by the specialists with data in the database to check for inconsistencies and verify the reliability of the database.

Information on the interaction among vertebrate visitors and flowers were compiled from: (Ruschi 1949, Vogel 1968, 2015, Sazima 1976, Sazima and Sazima 1977, 1978, 1980, 1987, 1988, 1995, 1999, Assumpção 1981, Snow and Teixeira 1982, Machado 1983, Snow and Snow 1986, Rylands 1989, Silva 1991, 2008, Vieira et al. 1991, Buzato and Franco 1992, Ferrari and Strier 1992, Fischer et al. 1992, Franco and Buzato 1992, Piratelli 1992, 1993, Peracchi and Albuquerque 1993, Sazima et al. 1993, 1994a, 1994b, 1995a, 1995b, 1996, 1999, 2003, 2005, Araujo et al. 1994, 2004, Buzato et al. 1994, 2000, Fischer 1994, Martinelli 1994, Faria 1995, Passos and Sazima 1995, Pizo et al. 1995, Silva and Peracchi 1995, 1999, Araujo 1996, Pizo 1996, Vieira and Carvalho-Okano 1996, Dietz et al. 1997, Locatelli et al. 1997, Machado and Lopes 1998, 2000, Machado et al. 1998, Pereira 1998, San Martin-Gajardo and Freitas 1999, Almeida and Alves 2000, 2003, Alves et al. 2000, Neves 2000, Santos 2000, Singer and Sazima 2000, 2001, Braz et al. 2000, Vitali-Veiga and Machado 2000, Quirino and Machado 2001, Siqueira Filho and Machado 2001, Sluys et al. 2001, Wendt et al. 2001, 2002, 2008, Freitas and Sazima 2001, 2006, Varassin et al. 2001, Lopes 2002, 2007, Sigrist and Sazima 2002, Varassin 2002, Canela and Sazima 2003a, 2003b, 2005, Kaehler 2003, Siqueira-Filho 2003, Abreu and Vieira 2004, Almeida et al. 2004, Castro and Araujo 2004, San Martin-Gajardo 2004, Teixeira and Machado 2004, Mendonça and dos Anjos 2005, Sanmartin-Gajardo and Sazima 2005a, 2005b, Teixeira 2005, Kaehler et al. 2005, Correia et al. 2005, Agostini et al. 2006, Borges 2006, Canela 2006, Cruz et al. 2006, 2014, Freitas et al. 2006, Lenzi et al. 2006, Mendonça and Anjos 2006, Mendonça and Dos Anjos 2006, Rocca 2006, Rocca et al. 2006, Vosgueritchian and Buzato 2006, Costa 2006, Carvalho

and Machado 2006, Fonseca 2007, 2012, Hmeljevski 2007, Leite and Machado 2007, Peterle et al. 2007, Piacentini and Varassin 2007, Vasconcellos and Freitas 2007, Lopes and Buzato 2007, Agostini 2008, Kriek 2008, Rocca and Sazima 2008, 2013, Rodrigues 2008, Costa and Morais 2008, Fonseca et al. 2008, 2015, 2016, Parrini and Raposo 2008, Aximoff and Freitas 2009, Borges et al. 2009, Koschnitzke et al. 2009, Paggi 2009, Rogalski et al. 2009, Braun 2010, Pelligrinotti et al. 2010, Piechowski et al. 2010, SanMartin-Gajardo and Vianna 2010, Scultori 2010, Silva et al. 2010, Avila and Freitas 2011, Kamke et al. 2011, Missagia and Verçosa 2011, Nunes 2011, Nunes-Freitas and Rocha 2011, Schmid et al. 2011b, 2011a, Scrok and Varassin 2011, Leone 2011, Meireles 2011, Bueno 2012, Gava 2012, Varassin and Sazima 2012, Verçosa et al. 2012, Amorim et al. 2013, Azevedo 2013, Benevides et al. 2013, Coelho 2013, Nolasco et al. 2013, Stein and Hensen 2013, Wolowski et al. 2013a, 2013b, 2016, Nogueira 2013, Hmeljevski et al. 2014, 2017, Malucelli 2014, Missagia 2014, Missagia et al. 2014, Silva and Piratelli 2014, Vizontin-Bugoni et al. 2014, 2016, Dias 2014, Souza et al. 2014, Cruz-Neto et al. 2015, El Ottra et al. 2015, 2016, Maruyama et al. 2015c, 2015b, Missagia and Alves 2015, 2016, 2017, 2018, Sato et al. 2015, Marques et al. 2015, Bergamo et al. 2016, Pansarin and de Pedro 2016, Capitani 2016, Bastos et al. 2017, Caballero-Villalobos et al. 2017, Pinto 2017, Malanotte 2018, Moreira 2018). We also compiled information from unpublished observations.

Research Methods: We included in the database all plant-oriented, animal-oriented and network studies reporting interaction between flowers and vertebrates. We considered only information from directed observation of the interaction (animal visits to a flower). For each study, we extract geography coordination from the study itself when available or from the municipality or reserve where the study was performance using Google Earth. For plant features, we extract information about flowering phenology, growth form of species, flower colors and shape, presence or absence of odor, anthesis time, mean corolla length and mean nectar rate production and concentration. For phenology, we used the first month in which the species was observed with flower and the number of month that the species remained with flowers; biannual species are signalized with an (*) on the data base. For nectar volume, information was collected in several different ways so, to standardize the data, we calculated the rate of nectar

production per hour dividing the accumulated nectar volume by the period the flower remained bagged. When the study did not inform the period in which the flower remained bagged or didn't bagged flower before nectar removal, the data was not included. For vertebrate features, we collected information on body weight and bill or rostrum length from the study itself or from taxonomic works. And finally, we compiled information from the interaction itself (time of observation, local of pollen deposition on animal's body, behavior of the animal at a flower – pollinator or larceny – and relative frequency of visits – number of flowers visited by total number of visits). Larceny was considered any behavior in which the animal visited the flower, consumed nectar or parts of the flower but did not touch the reproductive organs. For all plants we checked the conservation status using CNC Flora classification (Flora do Brasil 2014) and for animals, we used IUCN classification (IUCN 2017). Plant habit was checked using Flora (Flora do Brasil 2014) and when more than one habit was assigning to a plant, we considered the one assumed in the original study or the first listed on Flora. When some of this information was missing, it was classified as NA.

Taxonomy and systematics: For plants, we used taxonomic information from Flora (Flora do Brasil 2014), The Plant List (The Plant List 2013), Kew Science (WCSP 2018), taxonomic books and from personal communication with specialists. For birds, we used the checklist of birds by the Brazilian Ornithological Records Committee (Piacentini et al. 2015); for bats we used the checklist of Brazilian bats (Nogueira et al. 2014); for mammals we used the Annotated checklist of Brazilian Mammals 2nd edition (Paglia et al. 2012) and for the reptile species we used (Rocha et al. 2009). We were able to verify and validated the taxonomy of all plant and animal species, except for *Conchocarpus rubrus* (A. St.-Hil.) Bruniera and Groppo (Rutaceae) present in one study. Another inconsistency is the presence of *Bromelia karatas* L. (Bromeliaceae) which, according to Flora do not occur in Brazil yet this species is present in three different works in the data base.

Statistical analysis: We performed descriptive statistical analysis for overview of the data. To verify if each group of vertebrate visits flowers with certain traits, we performed factor analysis with mixed data using the function FAMD from the package FactorMineR

(Lê et al. 2008) in R. We included flower color, flower shape, anthesis time, presence or absence of odor, corolla length and nectar production and concentration as analysis variables. As supplemental variation, we used type of animal divided in two categories: bats and other birds. Due to poor data in other Orders of vertebrates, these groups were not included.

B. Data limitations and potential enhancements: We recognize that documenting the interaction between flowers and vertebrates in a mega-diverse Biome is a challenging task. This dataset is likely to contain only a subset of all interactions occurring in the Atlantic Forest because several sites is still not sampled, therefore caution is needed when drawing conclusions.

The first limitation is the representativeness of the dataset. For plants, most of information comes from epiphytes, since Bromeliaceae is the plant family with the highest number of studies. In relation to vertebrates, birds represent 84,64% of the interactions registered and, although bats are important pollinators of Atlantic Forest (Fleming and Kress 2013), observations of the interaction involving nocturnal animals and flowers are particularly hard to perform. This data set is cleared biased towards the Trochilidae family. Although hummingbirds represent the main flower visitors in the tropics (Bawa 1990, Buzato et al. 2012, Fleming and Kress 2013), the number of studies involving only this family (122 in 195) is much higher than studies involving other groups. So, this database represents a subsample of possible interactions (Table 2).

Table 2. Representativeness of ATLANTIC plant-vertebrate interaction to the species of nectar feeding vertebrates known to occur in the Atlantic Forest. Number of each class was obtained from literature:

Class	Family	N° of feeding nectar species recorded in Atlantic forest	N° of eeding nectar species in the dataset
BAT	Phyllostomidae	29	13
BIRDS	Cracidae	0	1
	Cuculidae	1	1

	Fringillidae	3	2
	Icteridae	3	4
	Oxyruncidae	1	1
	Picidae	1	1
	Pipridae	1	1
	Psittacidae	7	6
	Thraupidae	24	19
	Trochilidae	31	41
	Tyrannidae	31	1
	Vireonidae	13	1

Most studies containing information about flower traits (specially nectar volume) and interactions (specially time of observation and frequency of visits), but the information came as unstandardized way. Then, comparisons among species present in different studies must be made with caution.

Another important limitation of this dataset is the number of interactions listed by each group of vertebrates. For birds, the dataset reports only 4.76% (1706) of all possible interactions based on 82 animals and 437 plants and for bats only 14.31% (93) of all possible interactions based on 13 animals and 50 plants. Studies of interaction between flowers and vertebrate that involve the whole plant community may lead to a more comprehensive representation of the interaction network, especially in the subsampled areas of Atlantic Forest in the frontiers of Brazil, Argentina and Paraguay. It is also necessary more studies involving other groups of vertebrates and birds besides Trochilidae, since they are poorly represented when compared to hummingbirds.

Future studies also should collect, when possible, all information about plants and vertebrates associated with the interaction and about the interaction itself, specially frequency of visits, since this information is crucial to access the relative importance of vertebrates to plant species and understand pollination networks that are important to maintenance of communities. In addition, it would be interesting for specialist in the interaction between flowers and vertebrates to find a way to standardize the data collection.

CLASS III. DATA SET STATUS AND ACCESSIBILITY

A. Status

Latest update: Ago 2020

Latest archive date: Ago 2020

Metadata status: In review by coauthors

Data verification: Interaction information was compiled as published, except for taxonomic checking. Nectar volume of nectar was presented as rate of nectar production per hour. Information on quantitative traits for each species of plants and animals is present as the average of the information presented on the studies they appear. Observation time is presented as the sum of the observation period performed in each study. Geographic coordinates in database consist in an approximation of reported decimal degrees (Datum WGS 84) converted with Google Earth. For records without this information, we used the geographic position of municipality or national park where the study took place.

B. Accessibility

Contact person(s): Joice Iamara-Nogueira (joice.iamara@gmail.com) or Silvana Buzato (sbuzato@usp.br).

Copyright restrictions: No copyright or proprietary restrictions are associated with the use of this data set. Please cite this data paper when the data are used in publications or teaching events.

Costs: None.

CLASS IV. Data structural descriptors

A. Data set file

Identity: (1) ATLANTIC-vertebratepollination_plants.csv;

(2) ATLANTIC-vertebratepollination_vert.csv;

(3) ATLANTIC-vertebratepollination_int.csv;

(4) ATLANTIC-vertebratepollination_refs.csv

Size: (1) ATLANTIC-vertebratepollination_plants.csv, 118 KB;

(2) ATLANTIC-vertebratepollination_vert.csv, 17 KB;

(3) ATLANTIC-vertebratepollination_int.csv, 687 KB;

(4) ATLANTIC-vertebratepollination_refs.csv, 629 KB

Format and storage mode: data tables formatted as comma-separated values (*.csv).

Alphanumeric attributes: Mixed.

Data anomalies: If no information is available for any cell, this is indicated as 'NA'. In this data set there is NA values.

B. Variable information

B.1 Table 3. Plant information: Description of the fields related to plant features involved in the interaction

Variable	Description	Level	Example
Id	Identification of each plant species sampled. Each code is exclusive, so the same species sampled in the same locality by different studies will have different id.	1 to 514	1
Order	Order taxonomic classification.		Brassicales
Family	Family taxonomic classification.		Capparaceae
Genera	Genera taxonomic classification.		<i>Cynophalla</i>
Species	Specific epitope taxonomic classification.		<i>flexuosa</i>
Author	Species author.		(L.) J.Presl

ref_ver	Reference of taxonomic review.		REFLORA - Plantas do Brasil: Resgate Histórico e Herbário Virtual para o Conhecimento e Conservação da Flora Brasileira
nature_BR	Origen of the plant in relation to Brazil.	nat = native exo = exotic	nat
nature_AF	Origen of the plant in relation to Atlantic Forest.	nat = native intr = introduced	nat
CNC_classification	Cnc Flora classification for threatened plants.	EX = Extinct EW = Extinct in the wild CR = Critically endangered EN = Endangered VU = Vulnerable NT = Near threatened LC = Least concern DD = Data deficient NE = Not evaluated	LC
floweringstart_month	First month of flowering.	1 to 12	1
floweringperiod_month	Number of months with flower.	1 to 12	3
plantgrowth	Form of plant growth.	bru = brush or shrub epi = epiphyte her = herbaceous lia = liana tre = tree trl = treelet	epi

flower_color_1	Principal color of petals.	blu = blue (green, etc) red = red (pink, orange, purple, etc) yel = yellow (cream, etc) whi = white	red
flower_color_1	Secondary color of petals or bracts.	blu = blue (green, etc) red = red (pink, orange, purple, etc) yel = yellow (cream, etc) whi = white	yel
flower_shape	Shape of the corolla.	bel = bell dis = dish or capitula fla = flag gul = gullet hea = head or brush spu = spurred tub = tube	tub
Odor	Presence or absence of odor in the flower.	abs = absence pre = presence	a
anthesis_time	Time of flower anthesis.	day = day (6h am to 6h pm) nig = night (6h pm to 6h am) bot = both (all day)	day
corolla_length_mm	Mean corolla length of flowers in millimeters.	1.24 to 144.15	25.55
corolla_length_mm_sd	Standard deviation of corolla length in millimeters.	0.05 to 25.6	3.23

nectar_volume	Mean volume of nectar produced in microliters per hour. The rate of nectar production was estimated by the maximum volume measured in bagged flowers in pre-anthesis by the total of hours in which flowers kept bagged.	0 to 204.4	16.25
nectar_volume_uL_SD	Standard deviation of the nectar production rate in microliters per hour.	0 to 46.25	6.70
nectar_concentration_brix%	Mean nectar sugar concentration in brix (%).	6 to 60.6	29.35
nectar_concentration_brix%_SD	Standard deviation of nectar concentration in brix (%).	0 to 18.8	7.34
observation_time_hour	Time of observation of the interaction on plant species in hours.	0.8 to 682.72	40
n_input	Number of times in which the species was observed being visited by a vertebrate.	1 to 28	4

B.2 Table 4. Vertebrate information: Description of the fields related to vertebrate features involved in the interaction

Id	Identification of each vertebrate species sampled. Each code is exclusive, so the same species sampled in the same locality by different studies will have different id.	1 to 126	1
Order	Order taxonomic classification.		Passeriformes

family	Family taxonomic classification after taxonomic verification.		Thraupidae
subfamily	Subfamily taxonomic classification.		Coerebidae
genera	Genera taxonomic classification after taxonomic verification.		<i>Coereba</i>
species	Specific epitope taxonomic classification after taxonomic verification.		<i>flaveola</i>
author	Species author after taxonomic verification.		Linnaeus, 1758
ref_ver	Reference of taxonomic review.		Piacentin et al., 2015
iucn_classification	IUCN classification for threatened plants.	EX = Extinct EW = Extinct in the wild CR = Critically endangered EN = Endangered VU = Vulnerable NT = Near threatened LC = Least concern DD = Data deficient NE = Not evaluated	LC
body_weight_g	Mean body mass of the vertebrate in grams. When the species presents sexual dimorphism related to the body mass, the male mass was considered.	1.8 to 2000	10.5

body_weight_g_sd	Standard deviation of body mass of the vertebrates.	0.06 to 800	2.4
bill_rostrum_length_mm	Mean length, in millimeters, of the bill of birds or rostrum of mammals, specially nectarivores bats.	5 to 37.15	5
bill_rostrum_length_mm_sd	Standard deviation of length of the bill of birds or rostrum of mammals, specially nectarivores bats, in millimeters.	0.19 to 9.8	0.9
tongue_length_mm	Mean length, in millimeters, of the tongue of birds and mammals, specially nectarivores bats.	9.6 to 27.2	9.6
n_input	Number of times in which the species was observed visiting a plant.	1 to 111	12

B.3 Table 5. Interaction information: Description of the fields related to the interaction between flower and vertebrate pollinators in Atlantic Forest

id	Identification of each interaction sampled. The codes are not exclusive, and the same code represents the same interaction but with different deposition of pollen in the animal's body.	1 to 3120	1
latitude	Latitude in decimal degrees (GCS – WGS84) from the locality where the interaction was observed.	-31.93 to -3.87	-24.38

longitude	Longitude in decimal degrees (GCS – WGS84) from the locality where the interaction was observed.	-56.95 to -32.47	-48.85
genera_plant	Genera taxonomic classification as it appears in published study.		Capparis
genera_plan_ver	Genera taxonomic classification after taxonomic verification.		<i>Cynophalla</i>
sp_plant	Specific epitope taxonomic classification as it appears in published study.		<i>flexuosa</i>
author_plant	Species author as it appears in published study.		(L.) L.
sp_plant_ver	Specific epitope taxonomic classification after taxonomic verification.		<i>flexuosa</i>
author_plant_ver	Species author after taxonomic verification.		(L.) J.Presl
genera_floralvisit or	Genera taxonomic classification as it appears in published study.		<i>Coereba</i>
genera_floralvisit or_ver	Genera taxonomic classification after taxonomic verification.		<i>Coereba</i>

sp_floralvisitor	Specific epitope taxonomic classification as it appears in published study.		<i>flaveola</i>
author_floralvisitor	Species author as it appears in published study.		Linnaeus
sp_floralvisitor_ver	Specific epitope taxonomic classification after taxonomic verification.		<i>flaveola</i>
author_floralvisitor_ver	Species author after taxonomic verification.		Linnaeus, 1758
bodypollendeposition	Location of pollen deposition on pollinator's body.	bac = back bil= bill bel = belly che = chest chi = chin fro = front hea = head or crown lim = limb men = ment ros = rostrum tai = tail thr = troath win = wing	bil
behavior	Feeding behavior of vertebrates once on flowers. Animals are considered legitimate pollinators when they touch the flower's	lar = lacency pol = legitimate pollinator	pol

	reproductive structure with its body. Animals are considered larcenist when they visit flowers but don't touch the reproductive structures of the flowers. The behavior "larceny" may be robbers, thief, etc.		
relativefrequency	Calculated as the number of visits in a species of plant by a species of vertebrate by the total number of visits in this species of plant.	0 to 1	0.75

B.4 Table 6. References information: Description of the fields related to the references used in the dataset of plants and vertebrate visitors in Atlantic Forest

id_inter	Number of identifications of the interaction sampled and presented in Table 5.	1 to 3120	1
type	Type of bibliography	a = article b = book bc = book chapter t = thesis upd = unpublsh data	a
Info	Principal type of information in the bibliography.	inter = interaction vert = vertebrate	
Citation	Citation in Ecology style.		Abreu e Vieira 2004

Reference	Reference in Ecology style.		Abreu, C.R.M. and Vieira, M.F. 2004. Os beija-flores e seus recursos florais em um fragmento florestal em Viçosa, sudeste brasileiro. Lundiana 5(2): 129-134.
------------------	-----------------------------	--	---

CLASS V. SUPPLEMENTAL DESCRIPTORS

A. Data acquisition

ACKNOWLEDGMENTS: We thank the organizer of Flora do Brazil for their extensive work on the taxonomic organization of Brazilian flora. JIN thanks Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) grant #140235/2016-7. AVL thanks grant CNPq graduate fellowship, grant Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior (CAPES) graduate fellowship, grant Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) graduate fellowip, grant Österreichischer Austauschdienst (OeAD) graduate fellowship, Universidade de Campinas (UNICAMP), Universität Wien (Uni-Wien) and Estação Ecológica do Tapacurá-UFRPE. BPS thanks grant Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) graduate fellowip and Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG. BBM thanks grant FAPEMIG graduate fellowip and Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG. CGM thanks grants CAPES graduate fellowship, CNPq graduate fellowship, Reserva Ecológica Michelin/Bahia and Parque

Estadual Intervalos. CCCM thanks grant CAPES graduate fellowship and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) grant # E-01/201.955/2017. DB thanks grant Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) and CNPq graduate fellowship. EF thanks CNPq grant # 307016/2015-3 and Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino and Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/CAPES) grant # 88887.103417/2015-01. ESAO thanks grant FAPEMIG graduate fellowship, Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG and grant Programa de Apoio a Projetos de Extensão da Universidade Estadual de Minas Gerais (PAEx/UEMG) graduate fellowship. HFPN thanks FAPEMIG graduate fellowship and Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG. ICM thanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship, grant FACEPE graduate fellowship, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), UNICAMP, Uni-Wien, Usina Serra Grande – AL and Estação Ecológica do Tapacurá – UFRPE. IGV thanks CNPq grants # 4574642012-7, # 445405/2014-7, # 475127/2008 0 and Produtividade em Pesquisa (PQ-CNPq) grant # 313801/2017-7. IS thanks CNPq grant # 300992/79-ZO. JVB thanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship and Engineer Research and Development Center (ERDC) EQI Basic Research Program. JLSS thanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship, grant FACEPE graduate fellowship, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), UNICAMP, Uni-Wien, Usina Serra Grande – AL and Estação Ecológica do Tapacurá – UFRPE. JOF thanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship and grant FAPERJ graduate fellowship. KBL thanks CNPq graduate fellowship and FAPESP graduate fellowship. KA thanks grant FAPESP graduate fellowship. LF thanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship and grant FAPERJ graduate fellowship. LMP thanks grant FAPEMIG graduate fellowship, Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG and grant Programa de Apoio a Projetos de Extensão da Universidade Estadual de Minas Gerais (PAEx/UEMG) graduate fellowship. LEL thanks grant FAPESP graduate fellowship. LJCL thanks thanks grant FAPEMIG graduate fellowship, Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG and grant Programa de Apoio a Projetos de Extensão da Universidade Estadual de Minas Gerais (PAEx/UEMG)

graduate fellowship. MAR thanks grant Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo (BIOTA/FAPESP) graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship, Fundo de Apoio ao Ensino e à Pesquisa (FAEP)/Funcamp/Unicamp and The Nature Conservancy (TNC) of Brazil. MM thanks CNPq grants # 4574642012-7 and # 445405/2014-7. MASA thanks CNPq grant # 305.798/2014-6 and FAPERJ grant # E-26/203.191/2015. MRD thanks grant FAPESP graduate fellowship. MMM tanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship and grant FAPERJ graduate fellowship. MW thanks grant CAPES graduate fellowship and grant FAPERJ graduate fellowship. MS thanks grant FAPESP graduate fellowship, grant CNPq graduate fellowship and grant Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e Extensão – UNICAMP (FAEPEX/UNICAMP) graduate fellowship. MGJ thanks grant FAPESP graduate fellowship and grant CNPq graduate fellowship. MR thanks FAPESP grant # 2013/50421-2, CNPq grants # 312045/2013-1 and # 312292/2016-3 and Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (Procad/CAPES) grant # 88881.068425/2014-01. OCN grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship, grant FACEPE graduate fellowship, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), UNICAMP, Uni-Wien, Usina Serra Grande – AL and Estação Ecológica do Tapacurá – UFRPE. PWMM thanks Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual de Minas Gerais by the scholarships PIBIC-FAPEMIG-UEMG. PJB thanks FAPESP grant # 2016/06434-0. PKM thanks FAPESP grant # 2015/21457-4. RLBL thanks grant CNPq graduate fellowship, grant CAPES graduate fellowship and grant FAPERJ graduate fellowship. RF thanks grant FUNDECT/CAPES graduate fellowship. SB thanks grant CAPES graduate fellowship. TSM thanks Programa Doutorado-sanduiche CAPES (PDSE-CAPES) grant # 88881.134026/2016-01, CAPES grant # 1392870 and Programa de Pesquisa em Biodiversidade Mata Atlântica (PPBIO-MA) grant # 4574642012-7.

REFERENCES

- Abreu, C., R. M., and M. F. Vieira. 2004. Os beija-flores e seus recursos florais em um fragmento florestal de Viçosa, sudeste brasileiro. *Lundiana* 5:129–134.
- Agostini, K. 2008. Ecologia da reprodução de duas espécies de *Mucuna* (Leguminosae, Faboideae, Phaseoleae) : embriologia, citogenética e variabilidade genética - do litoral norte de São Paulo.
- Agostini, K., M. Sazima, and I. Sazima. 2006. Bird pollination of explosive flowers while foraging for nectar and caterpillars. *Biotropica* 38:674–678.
- Almeida, E., and M. A. S. Alves. 2003. Comportamento de aves nectarívoras em *Erythrina speciosa* Andrews (Leguminosae-Papilionoideae) em uma área de Floresta Atlântica, Ilha Grande, Rio de Janeiro. *Revista de Etologia* 5:15–21.
- Almeida, E. M. de, and M. A. S. Alves. 2000. Fenologia de *Psychotria nuda* e *P. Brasiliensis* (Rubiaceae) em uma área de Floresta Atlântica no sudeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 14:335–346.
- Almeida, E. M., A. Storni, P. D. Ritter, and M. A. S. Alves. 2004. Floral visitors of *Tillandsia stricta* Sol. (Bromeliaceae) at Restinga of Jurubatiba, Macaé, Rio de Janeiro, Brazil. *Vidalia* 2:30–35.
- Alves, M. A. S., C. F. D. da Rocha, M. V. Sluys, and H. de G. Bergallo. 2000. Guilda de beija-flores polinizadores de quatro espécies de Bromeliaceae de Mata Atlântica da Ilha Grande, RJ, Brasil: composição e taxa de visitação. Pages 171–185 in M. A. S. Alves, J. M. C. Cardoso, M. V. Sluys, H. de G. Bergallo, and C. F. D. da Rocha, editors. *A Ornitologia no Brasil: Pesquisa e Atual Perspectivas*. First edition. EDUERJ, Rio de Janeiro.
- Amorim, F. W., L. Galetto, and M. Sazima. 2013. Beyond the pollination syndrome: Nectar ecology and the role of diurnal and nocturnal pollinators in the reproductive success of *Inga sessilis* (Fabaceae). *Plant biology* 15:317–327.
- Anderson, S. H., D. Kelly, J. J. Ladley, S. Molloy, and J. Terry. 2011. Cascading effects of bird functional extinction reduce pollination and plant density. *Science (New York, N.Y.)* 331:1068–1071.
- Araujo, A. C. de. 1996. Beija-flores e seus recursos florais numa área de planície costeira do litoral norte de São Paulo.
- Araujo, A. C., E. A. Fischer, and M. Sazima. 1994. Floração sequencial e polinização de três espécies de *Vriesea* (Bromeliaceae) na região de Juréia, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 17:113–118.
- Araujo, A., E. Fischer, and M. Sazima. 2004. As bromélias na região do Rio Verde. Pages 162–171 *Estação Ecológica Juréia-Itatins: ambiente físico, flora e fauna*. Holos Editora, Ribeirão Preto, São Paulo.
- Assumpção, C. T. D. 1981. *Cebus apella* and *Brachyteles arachnoides* (Cebidae) as Potential Pollinators of *Mabea fistulifera*. *J. Mammalogy* 62:386–388.
- Avila, S. R., and L. Freitas. 2011. Frequency of visits and efficiency of pollination by diurnal and nocturnal lepidopterans for the dioecious tree *Randia itatiaiae* (Rubiaceae). *Australian Journal of Botany* 59:176–184.

- Aximoff, I., and L. Freitas. 2009. Composição e comportamento de aves nectarívoras em *Erythrina falcata* (Leguminosae) durante duas florações consecutivas com intensidades diferentes. *Revista Brasileira de Ornitologia* 17:194–203.
- Azevedo, D. B. 2013. Fenologia reprodutiva e estrutura populacional de *Bromelia antiacantha* em uma área de restinga da Ilha da Marambaia - Mangaratiba/RJ.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. U. Wogan, B. Swartz, T. B. Quental, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey, K. C. Maguire, B. Mersey, and E. A. Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51–57.
- Bastos, M. J. S. M., L. P. Bastos, E. H. de Souza, T. L. Soares, D. V. Morais, F. V. D. de Souza, and M. A. P. de C. Costa. 2017. Floral and reproductive biology of *Alcantarea nahoumii* (Bromeliaceae), a vulnerable endemic species of the Atlantic Forest. *Acta Botanica Brasilica* 31:665–676.
- Bawa, K. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21:399–422.
- Bello, C., M. Galetti, D. Montan, M. A. Pizo, T. C. Mariguela, L. Culot, F. Bufalo, F. Labecca, F. Pedrosa, R. Constantini, C. Emer, W. R. Silva, F. R. Silva, O. Ovaskainen, and P. Jordano. 2017. Atlantic-frugivory: A plant-frugivore interaction dataset for the Atlantic Forest. *Ecology* 98:1729–1729.
- Benevides, C. R., D. M. Evans, and M. C. Gaglianone. 2013. Comparing the structure and robustness of passifloraceae - Floral visitor and true pollinator networks in a lowland atlantic forest. *Sociobiology* 60:295–305.
- Bergamo, P. J., A. R. Rech, V. L. G. Brito, and M. Sazima. 2016. Flower colour and visitation rates of *Costus arabicus* support the 'bee avoidance' hypothesis for red-reflecting hummingbird-pollinated flowers. *Functional Ecology* 30:710–720.
- Bergamo, P. J., M. Wolowski, P. K. Maruyama, J. Vizontin-Bugoni, L. G. Carvalheiro, and M. Sazima. 2017. The potential indirect effects among plants via shared hummingbird pollinators are structured by phenotypic similarity. *Ecology* 98:1849–1858.
- Boehm, M. M. A., and M. M. A. Boehm. 2018. Biting the hand that feeds you: wedge-billed hummingbird is a nectar robber of a sicklebill-adapted Andean bellflower. *Acta Amazonica* 48:146–150.
- Borges, L. A. 2006. Fenologia e biologia reprodutiva do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae - Caesalpinioideae) em remanescente de Floresta Atlântica Semidecidual em Pernambuco.
- Borges, L. A., M. S. Sobrinho, and A. V. Lopes. 2009. Phenology, pollination, and breeding system of the threatened tree *Caesalpinia echinata* Lam. (Fabaceae), and a review of studies on the reproductive biology in the genus. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 204:111–130.
- Braun, M. 2010. Floral biology, breeding system, pollination and reproductive success of selected understory tree species in fragments of Atlantic rainforest in Pernambuco,.
- Braz, D. M., M. F. Vieira, and R. M. de Carvalho-Okano. 2000. Aspectos reprodutivos de espécies de Acanthaceae juss. de um fragmento florestal do município de Viçosa, Minas Gerais.

- Bueno, R. D. O. 2012. Fatores que influenciam interações entre beija-flores e plantas em Mata Atlântica: disponibilidade de recursos e ajustes morfológicos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Butchart, S. H. M., M. Walpole, B. Collen, A. van Strien, J. P. W. Sharlemann, R. E. Almond, J. E. M. Baillie, B. Bomhard, C. Brown, J. Bruno, K. E. Carpenter, G. M. Carr, J. Chanson, A. M. Chenery, J. Csirke, N. C. Davidson, F. Dentener, M. Foster, A. Galli, J. N. Galloway, P. Genovesi, R. D. Gregory, M. Hockings, V. Kapos, J.-F. Lamarque, F. Levrington, J. Loh, M. A. McGeoch, L. McRae, A. Minasyan, M. H. Morcillo, T. E. E. Oldfield, D. Pauly, S. Quader, C. Revenga, J. R. Sauer, B. Skolnik, D. Spear, D. Stanwell-Smith, S. N. Stuart, A. Symes, M. Tierney, T. D. Tyrrell, J.-C. Vié, and R. Watson. 2010. Global biodiversity : Indicators of recent declines. *Science* 1164:1164–1169.
- Buzato, S. 2014. Polinização e demografia de espécies vegetais. Page Biologia da Polinização. Projeto Cultural, Rio de Janeiro, Brazil.
- Buzato, S., and A. L. M. Franco. 1992. *Tetrastylis ovalis*: A second case of bat-pollinated passionflower (Passifloraceae). *Plant Systematics and Evolution* 181:261–267.
- Buzato, S., T. C. Giannini, I. C. Machado, M. Sazima, and I. Sazima. 2012. Polinizadores vertebrados: uma visão geral para espécies brasileiras. Pages 119–141 in V. L. Imperatriz-Fonseca, D. A. L. Canhos, D. A. Alves, and A. M. Saraiva, editors. *Polinizadores no Brasil*. First edition. Edusp, São Paulo.
- Buzato, S., M. Sazima, and I. Sazima. 2000. Hummingbird-pollinated floras at three Atlantic Forest sites. *Biotropica* 32:824–841.
- Buzato, S., M. Sazima, I. Sazima, and I. Sazama. 1994. Pollination of three species of *Abutilon* (Malvaceae) intermediate between bat and hummingbird flower syndromes. *Flora* 189:327–334.
- Caballero-Villalobos, L., G. A. Silva-Arias, C. R. Buzatto, M. H. Nervo, and R. B. Singer. 2017. Generalized food-deceptive pollination in four *Cattleya* (Orchidaceae: Laeliinae) species from Southern Brazil. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 234:195–206.
- Canela, M. B. F. 2006. Interações entre plantas e beija-flores numa comunidade de Floresta Atlântica Montana em Itatiaia, Rio de Janeiro.
- Canela, M. B. F., and M. Sazima. 2003a. *Aechmea pectinata*: A Hummingbird-dependent bromeliad with inconspicuous flowers from the rainforest in south-eastern Brazil. *Annals of Botany* 92:731–737.
- Canela, M. B. F., and M. Sazima. 2003b. Florivory by the crab *Armases angustipes* (Grapsidae) influences hummingbird visits to *Aechmea pectinata* (Bromeliaceae). *Biotropica* 35:289–294.
- Canela, M. B. F., and M. Sazima. 2005. The pollination of *Bromelia antiacantha* (Bromeliaceae) in southeastern Brazil: Ornithophilous versus melittophilous features. *Plant Biology* 7:411–416.
- Capitani, L. C. 2016. ECOLOGIA FLORAL DE *Bauhinia forficata* Link: INTERAÇÕES ECOLÓGICAS NA RESTAURAÇÃO DE ECOSISTEMAS.
- Carvalho, R., and I. C. Machado. 2006. *Rodriguezia bahiensis* Rchb. f.: floral biology, pollinators, and first record of Acroceridae fly pollination in Orchidaceae. *Brazilian Journal of Botany* 29:461–470.
- Castro, C. C., and A. Araujo. 2004. Distyly and sequential pollinators of *Psychotria nuda* (Rubiaceae) in the Atlantic rain forest, Brazil. *Plant Systematics and Evolution* 244:131–139.

- Coelho, A. G. 2013. A comunidade de plantas utilizada por beija-flores no sub-bosque de um fragmento de Mata Atlântica da Bahia, Brasil.
- Correia, M. C. R., M. C. B. Pinheiro, and H. A. de Lima. 2005. Floral and pollination biology of *Arrabidaea conjugata* (Vell.) Mart. (Bignoniaceae). *Acta Botanica Brasilica* 19:501–510.
- Costa, R. A. C. V. 2006. Visitantes florais de *Erythrina crista-galli* L. e *Erythrina falcata* Benth (Leguminosae: Faboideae) na região urbana de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Costa, R. A. C. V., and A. B. B. de Moraes. 2008. Fenologia e visitantes florais de *Erythrina crista-galli* L. (Leguminosae: Faboideae) em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biotemas* 21:51–56.
- Cruz, D. D., M. de Castro e Silva, and N. S. de Albuquerque. 2014. Floral syndrome, resources and pollinator guilds: A case study of *Heliconia psittacorum* L. f. (Heliconiaceae). *Iheringia, Serie Botanica* 69:303–312.
- Cruz, D. D., M. A. R. Mello, and M. Van Sluys. 2006. Phenology and floral visitors of two sympatric *Heliconia* species in the Brazilian Atlantic forest. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 201:519–527.
- Cruz-Neto, O., I. C. Machado, L. Galetto, and A. V. Lopes. 2015. The influence of nectar production and floral visitors on the female reproductive success of *Inga* (Fabaceae): A field experiment. *Botanical Journal of the Linnean Society* 177:230–245.
- Dean, W., and S. B. Schwartz. 1997. *With Broadax and Firebrand: The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest*. Edição: 1. University of California Press.
- Dias, L. do C. D. 2014. *Biologia reprodutiva de Aechmea bruggeri* Leme (Bromeliaceae): uma espécie endêmica da Floresta Atlântica ameaçada de extinção.
- Dietz, J. M., C. A. Peres, and L. Pinder. 1997. Foraging ecology and use of space in wild golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia*). *American Journal of Primatology* 41:289–305.
- Dodd, M. E., J. Silvertown, M. W. Chase, N. Jun, and W. Chase. 1999. Phylogenetic Analysis of Trait Evolution and Species Diversity Variation among Angiosperm Families. *Evolution* 53:732–744.
- El Ottra, J. H. L., J. R. Pirani, and E. R. Pansarin. 2015. Floral biology and pollination of two sympatric species of Galipeinae (Galipeeae, Rutaceae) endemic to the Brazilian Atlantic Forest. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 221:107–116.
- El Ottra, J. H. L., J. R. Pirani, and E. R. Pansarin. 2016. Tackling pollination of tubular flowers in Rutaceae and a case study of *Conchocarpus rubrus* (Galipeinae, Rutaceae). *Revista Brasileira de Botanica* 39:913–924.
- Faria, D. M. 1995. Os morcegos da Santa Genebra. Pages 100–106 *Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana - Reserva de Santa Genebra*. Editora Unicamp, Campinas, Brasil.
- Feinsinger, P., and R. K. Colwell. 1978. Community organization among neotropical nectar-feeding birds. *Amer. Zool.* 18:779–795.
- Feinsinger, P., K. G. Murray, S. Kinsman, and W. H. Busby. 1986. Floral Neighborhood and Pollination Success in Four Hummingbird-Pollinated Cloud Forest Plant Species. *Ecology* 67:449–464.

- Ferrari, S. F., and K. B. Strier. 1992. Exploitation of *Mabea fistulifera* nectar by marmosets (*Callithrix flaviceps*) and muriquis (*Brachyteles arachnoides*) in south east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 8:225–239.
- Fischer, E. A. 1994. Polinização, fenologia e distribuição espacial de Bromeliaceae numa comunidade de Mata Atlântica, litoral sul de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Ecologia - UNICAMP:80–80.
- Fischer, E., F. A. Jimenez, and M. Sazima. 1992. Polinização por morcegos em duas espécies de Bombacaceae na Estação Ecológica da Juréia, São Paulo. *Revista Brasil. Bot.* 15:67–72.
- Fleming, T., and W. J. Kress. 2013. The ornaments of life. Page (T. Fleming and W. J. Kress, Eds.). First edition. The University of Chicago Press, Chicago.
- Foley, J. A., R. Defries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty, and P. K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* 8:570–574.
- Fonseca, L. C. N. 2007. Recursos florais utilizados por beija-flores (Aves: Trochilidae) em área de restinga aberta de Clusia, Macaé, udeste do Brasil.
- Fonseca, L. C. N. 2012. Transporte de pólen de espécies ornitófilas e energia disponível para beija-flores em área de Mata Atlântica, Núcleo Picinguaba/PESM, Ubatuba, SP.
- Fonseca, L. C. N., E. M. de Almeida, and M. A. S. Alves. 2008. Fenologia, morfologia floral e visitantes de *Psychotria brachypoda* (Müll. Arg.) Britton (Rubiaceae) em uma área de Floresta Atlântica, Sudeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 22:63–69.
- Fonseca, L. C. N. da, A. R. Rech, P. J. Bergamo, V. Gonçalves-Esteves, M. Sazima, L. C. N. da Fonseca, A. R. Rech, P. J. Bergamo, V. Gonçalves-Esteves, and M. Sazima. 2016. Heterospecific pollen deposition among plants sharing hummingbird pollinators in the Brazilian Atlantic Forest. *Rodriguésia* 67:335–345.
- Fonseca, L. C. N., J. Vizentin-Bugoni, A. R. Rech, M. A. S. Alves, L. C. N. Fonseca, J. Vizentin-Bugoni, A. R. Rech, and M. A. S. Alves. 2015. Plant-hummingbird interactions and temporal nectar availability in a restinga from Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87:2163–2175.
- Franco, A. L. M., and S. Buzato. 1992. Biologia floral de *Nematanthus fritschii* (Gesneriaceae). *Revista Brasil. Bot.* 52:661–666.
- Freitas, L., L. Galetto, and M. Sazima. 2006. Pollination by hummingbirds and bees in eight syntopic species and a putative hybrid of Ericaceae in Southeastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution* 258:49–61.
- Freitas, L., A. Salino, L. M. Neto, T. Almeida, S. Mortara, J. Stehmann, A. M. Amorim, E. Guimaraes, M. A. N. Coelho, A. Zanin, and R. Forzza. 2016. A comprehensive checklist of vascular epiphytes of the Atlantic Forest reveals outstanding endemic rates. *PhytoKeys* 58:65–79.
- Freitas, L., and M. Sazima. 2001. Nectar Features in *Esterhazyia macrodonta*, a Hummingbird-Pollinated Scrophulariaceae in Southeastern Brazil. *Journal of Plant Research* 114:187–191.
- Freitas, L., and M. Sazima. 2006. Pollination biology in a tropical high-altitude grassland in Brazil: interactions at the community level. *Annals of Missouri Botanical Garden* 93:465–516.
- Frick, W. F., R. D. Price, P. A. Heady, and K. M. Kay. 2013. Insectivorous bat pollinates columnar cactus more effectively per visit than specialized nectar bat. *The American Naturalist* 181:137–144.

- Galetti, M., R. Guevara, M. C. Côrtes, R. Fadini, S. V. Matter, A. B. Leite, F. Labecca, T. Ribeiro, C. S. Carvalho, R. G. Collevatti, M. M. Pires, P. R. Guimarães, P. H. Brancalion, M. C. Ribeiro, and P. Jordano. 2013. Functional Extinction of Birds Drives Rapid Evolutionary Changes in Seed Size. *Science* 340:1086–1090.
- Gava, H. Z. 2012. Flores ornitófilas e suas aves polinizadoras em uma área cacauera na mata atlântica do Sul da Bahia: Uma análise para conservação da biodiversidade local.
- Hadley, A. S., S. J. K. Frey, W. D. Robinson, and M. G. Betts. 2018. Forest fragmentation and loss reduce richness, availability, and specialization in tropical hummingbird communities. *Biotropica* 50:74–83.
- Hasui, É., J. P. Metzger, R. G. Pimentel, L. F. Silveira, A. A. d. A. Bovo, A. C. Martensen, A. Uezu, A. L. Regolin, A. Bispo de Oliveira, C. A. F. R. Gatto, C. Duca, C. B. Andretti, C. Banks-Leite, D. Luz, D. Mariz, E. R. Alexandrino, F. M. de Barros, F. Martello, I. M. d. S. Pereira, J. N. da Silva, K. M. P. M. d. B. Ferraz, L. N. Naka, L. dos Anjos, M. A. Efe, M. A. Pizo, M. Pichorim, M. S. S. Gonçalves, P. H. C. Cordeiro, R. A. Dias, R. d. L. Muylaert, R. C. Rodrigues, T. V. V. da Costa, V. Cavarzere, V. R. Tonetti, W. R. Silva, C. N. Jenkins, M. Galetti, and M. C. Ribeiro. 2018. ATLANTIC BIRDS: a data set of bird species from the Brazilian Atlantic Forest. *Ecology* 99:497–497.
- Healy, S. D., and T. A. Hurly. 2013. What hummingbirds can tell us about cognition in the wild.
- Hmeljevski, K. V. 2007. Caracterização reprodutiva de *Dyckia ibiamensis* Reitz, uma bromélia endêmica do Alto do Vale do Itajaí, SC.
- Hmeljevski, K. V., L. Freitas, R. Domingues, A. R. Pereira, A. S. Cancio, A. C. S. Andrade, M. A. Machado, L. F. Viccini, and R. C. Forzza. 2014. Conservation assessment of an extremely restricted bromeliad highlights the need for population-based conservation on granitic inselbergs of the Brazilian Atlantic Forest. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 209:250–259.
- Hmeljevski, K. V., M. Wolowski, R. C. Forzza, and L. Freitas. 2017. High outcrossing rates and short-distance pollination in a species restricted to granitic inselbergs. *Australian Journal of Botany* 65:315–326.
- Inouye, D. W. 1980. The Terminology of Floral Larceny. *Ecology* 61:1251–1253.
- Joly, C. A., J. P. Metzger, and M. Tabarelli. 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*:1–15.
- Kaehler, M. 2003. Partilha de recursos para a polinização de Bromeliaceae em uma área de Floresta Ombrófila Densa Alto-montana no Estado do Paraná, Brasil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Kaehler, M., I. G. Varassin, and R. Goldenberg. 2005. Polinização em uma comunidade de bromélias em floresta atlântica alto-montana no estado do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Botany* 28:219–228.
- Kamke, R., S. Schmid, A. Zillikens, B. C. Lopes, and J. Steiner. 2011. The importance of bees as pollinators in the short corolla bromeliad *Aechmea caudata* in southern Brazil. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 206:749–756.
- Kay, K. M., P. A. Reeves, R. G. Olmstead, and D. W. Schemske. 2005. Rapid speciation and the evolution of hummingbird pollination in neotropical *Costus* subgenus *Costus* (Costaceae): Evidence from nrDNA ITS and ETS sequences. *American Journal of Botany* 92:1899–1910.

Kay, K. M., and R. D. Sargent. 2009. The Role of Animal Pollination in Plant Speciation: Integrating Ecology, Geography, and Genetics.

Koschnitzke, C., A. Tereza, D. A. Rodarte, R. D. Cássia, and R. Gama. 2009. Flores ornitófilas odoríferas: Duas espécies de *Palicourea* (Rubiaceae) na Estação Biológica de Santa Lúcia, ES, Brasil. *Hoehnea* 36:497–499.

Kriek, C. 2008. Ecologia reprodutiva de *Dyckia encholirioides* var. *encholirioides* (Gaud) Mez. (Bromeliaceae) em costões oceânicos de Florianópolis, Santa Catarina.

Lagomarsino, L. P., E. J. Forrestel, N. Muchhala, and C. C. Davis. 2017. Repeated evolution of vertebrate pollination syndromes in a recently diverged Andean plant clade. *Evolution* 71:1970–1985.

Lê, S., J. Josse, and F. Husson. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25:1–18.

Leite, A. V., and I. C. Machado. 2007. Fenologia reprodutiva, biologia floral e polinizadores de duas espécies simpátricas de Marantaceae em um fragmento de Floresta Atlântica, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 30:221–231.

Lenzi, M., J. Z. de Matos, and A. I. Orth. 2006. Variação morfológica e reprodutiva de *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae). *Acta Botanica Brasilica* 20:487–500.

Leone, F. R. 2011. Plantas ornitófilas, com enfoque em *Sinningia sceptrum* (Mart.) Wiehler (Gesneriaceae), em fragmento de Floresta Atlântica: aspectos reprodutivos e rede de interações mutualísticas.

Lima, L. M. 2014, January 21. Aves da Mata Atlântica: riqueza, composição, status, endemismos e conservação. text, Universidade de São Paulo.

Locatelli, E., I. C. Machado, P. Medeiros, E. Locatelli, I. C. Machado, and P. Medeiros. 1997. Floral Biology and Bat Pollination in *Pilosocereus catingicola* (Cactaceae) in Northeastern Brazil. *Floral Biology and Bat Pollination in Pilosocereus catingicola* (Cactaceae) in Northeastern Brazil 15:28–34.

Lopes, A. V. de F. 2002. Polinização por Beija-Flores em Remanescentes da Mata Atlântica Pernambucana, Nordeste do Brasil. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. *Doutorado*:139–139.

Lopes, L. E. 2007, December 17. Densidade de recursos florais em múltiplas escalas espaciais: consequências para a interação planta-polinizador e demografia de *Abutilon rufinerve* (Malvaceae). text, Universidade de São Paulo.

Lopes, L. E., and S. Buzato. 2007. Variation in pollinator assemblages in a fragmented landscape and its effects on reproductive stages of a self-incompatible treelet, *Psychotria suterella* (Rubiaceae). *Oecologia* 154:305–314.

Machado, I. C., and A. V. Lopes. 1998. A polinização biótica e seus mecanismos na Reserva Ecológica de Dois Irmãos. Pages 173–195 *Reserva Ecológica de Dois Irmãos: Estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana (Recife - Pernambuco - Brasil)*. Editora Universitária da UFPE, Recife, Brasil.

Machado, I. C., and A. V. Lopes. 2000. *Souroubea guianensis* Aubl.: Quest for its legitimate pollinator and the first record of tapetal oil in the Marcgraviaceae. *Annals of Botany* 85:705–711.

- Machado, I. C. S. 1983. Biologia floral de *ipomoea hederifolia* L.E. *ipomoea quamochit* L. (convolvulaceae).
- Machado, I. C. S., I. Sazima, and M. Sazima. 1998. Bat pollination of the terrestrial {herb} *alata* {(Gentianaceae)} in northeastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution* 209:231–237.
- Malanotte, M. L. 2018. Ligando flores e polinizadores: Como os padrões de floração estruturam as comunidades de beija-flores?
- Malucelli, T. S. 2014. Fatores envolvidos na estruturação das redes de polinização beija-flor-planta em um gradiente sucessional.
- Marques, J. S., M. C. Tagliati, and A. P. G. Faria. 2015. Diurnal versus nocturnal pollination success in *Billbergia horrida* Regel (Bromeliaceae) and the first record of chiropterophily for the genus. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87:835–842.
- Martinelli, G. 1994. Reproductive biology of Bromeliaceae in the Atlantic Rainforest of Southeastern Brazil:345–345.
- Martinelli, G., and M. A. Moraes. 2013. Livro Vermelho da Flora do Brasil.
- Maruyama, P. K., J. Vizenin-Bugoni, B. Dalsgaard, I. Sazima, and M. Sazima. 2015a. Nectar robbery by a hermit hummingbird: association to floral phenotype and its influence on flowers and network structure. *Oecologia* 178:783–793.
- Maruyama, P. K., J. Vizenin-Bugoni, B. Dalsgaard, I. Sazima, and M. Sazima. 2015b. Nectar robbery by a hermit hummingbird: association to floral phenotype and its influence on flowers and network structure. *Oecologia* 178:783–793.
- Maruyama, P. K., J. Vizenin-Bugoni, B. Dalsgaard, and M. Sazima. 2015c. Pollination and breeding system of *Canna paniculata* (Cannaceae) in a montane Atlantic Rainforest: asymmetric dependence on a hermit hummingbird. *Acta Botanica Brasilica* 29:157–160.
- Meireles, A. S. de. 2011. Fenologia e ecologia da polinização de duas espécies de Bromeliaceae na Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ.
- Mendonça, L. B., and L. dos Anjos. 2005. Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 22:51–59.
- Mendonça, L. B., and L. dos Anjos. 2006. Feeding behavior of hummingbirds and perching birds on *Erythrina speciosa* Andrews (Fabaceae) flowers in an urban area, Londrina, Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 23:42–49.
- Mendonça, L. B., and L. Dos Anjos. 2006. Flower morphology, nectar features, and hummingbird visitation to *Palicourea crocea* (Rubiaceae) in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78:45–57.
- Missagia, C. C. C. 2014. Ecologia da polinização de duas espécies simpátricas de *Heliconia* L. (Heliconiaceae) em área de Mata Atlântica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Missagia, C. C. C., and M. A. S. Alves. 2015. The rate of visitation by *Amazilia fimbriata* (Apodiformes: Trochilidae) influences seed production in *Tillandsia stricta* (Bromeliaceae). *Zoologia (Curitiba)* 32:260–262.
- Missagia, C. C. C., and M. A. S. Alves. 2016. Territorial foraging behavior in the male Violet-capped Woodnymph is dependent on the density of patches of inflorescences of *Heliconia*

- spathocircinata Aristeg. (Heliconiaceae) in the Brazilian Atlantic forest. *Revista Brasileira de Botânica* 39:1145–1150.
- Missagia, C. C. C., and M. A. S. Alves. 2017. Florivory and floral larceny by fly larvae decrease nectar availability and hummingbird foraging visits at *Heliconia* (Heliconiaceae) flowers. *Biotropica* 49:13–17.
- Missagia, C. C. C., and M. A. S. Alves. 2018. Does beak size predict the pollination performance of hummingbirds at long and tubular flowers? A case study of a Neotropical spiral ginger. *Journal of Zoology*:1–7.
- Missagia, C. C. C., F. C. Verçosa, and M. A. S. Alves. 2014. Reproductive phenology and sharing of floral resource among hummingbirds (Trochilidae) in inflorescences of *Dahlstedtia pinnata* (Benth.) Malme. (Fabaceae) in the Atlantic forest. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86:1693–1702.
- Missagia, C. C. C., and F. C. Verçosa. 2011. Fenologia reprodutiva, polinização e frutificação de *Heliconia spathocircinata* Aristeg. (Heliconiaceae) em fragmento de Floresta Atlântica do município do Rio de Janeiro DOI: 10.5007/2175-7925.2011v24n3p13. *Biotemas* 24:13–23.
- Mittermeier, R. A., P. R. Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux, and G. A. B. da Fonseca. 2004. Hotspots revisited.
- Moreira, M. M. 2018. Sinais florais em espécies com generalização fenotípica em uma comunidade de Floresta Atlântica Montana, RJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Morellato, L. P. C., and C. F. B. Haddad. 2000. Introduction : The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32:786–792.
- Muchhala, N. 2006. Nectar bat stows huge tongue in its rib cage. *Nature* 444:701–702.
- Muylaert, R. L., R. D. Stevens, C. E. L. Esbérard, M. A. R. Mello, G. S. T. Garbino, L. H. Varzinczak, D. Faria, M. M. Weber, P. K. Rogeri, A. L. Regolin, H. F. M. Oliveira, L. M. Costa, M. A. S. Barros, G. Sabino-Santos Jr, M. A. C. Morais, V. S. Kavagutti, F. C. Passos, E.-L. Marjakangas, F. G. M. Maia, M. C. Ribeiro, and M. Galetti. 2017. Atlantic Bats: a dataset of bat communities from Atlantic Forests of South America. *Ecology* 98:3227–3227.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.
- Neves, C. B. 2000. Polinização por beija-flores e partilha de polinizadores em duas espécies de *Heliconia* (Heliconiaceae). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Nogueira, J. I. 2013, July 31. Padrão geográfico de diversificação floral indica novos caminhos envolvidos na especiação do clado neotropical de *Sinningia* (Gesneriaceae). text, Universidade de São Paulo.
- Nogueira, M. R., I. P. de Lima, R. Moratelli, V. da C. Tavares, R. Gregorin, and A. L. Peracchi. 2014. Checklist of Brazilian bats, with comments on original records. *Check List* 10:808–821.
- Nolasco, E. C., a G. Coelho, and C. G. Machado. 2013. First verified record of ornithophily in *Calathea* (Marantaceae). Primeiro registro de ornitofilia confirmado em *Calathea* (Marantacea) 29:1327–1337.
- Nunes, C. E. P. 2011. Biologia da polinização e reprodução de *Elleanthus* C. Presl. (Orchidaceae) na Mata Atlântica do Parque Estadual da Serra do Mar, São Paulo.

- Nunes-Freitas, A. F., and C. F. D. Rocha. 2011. Reproductive phenology and flower visitors' guild of *Canistropsis microps* (Bromeliaceae) in an atlantic rainforest of southeastern Brazil. *Journal of Natural History* 45:1021–1034.
- Paggi, G. 2009. Aspectos genéticos e ecológicos da biologia reprodutiva de *Vriesea gigantea* (Bromeliaceae). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Paglia, A., G. Fonseca, A. Rylands, G. Herrmann, L. Aguiar, A. Chiarello, Y. Leite, L. Costa, S. Siciliano, M. Kierulff, S. Mendes, V. Tavares, R. A. Mittermeier, and J. L. Patton. 2012. Annotated checklist of Brazilian mammals 6:1–76.
- Pansarin, E. R., and S. R. M. de Pedro. 2016. Reproductive biology of a hummingbird-pollinated *Billbergia*: light influence on pollinator behaviour and specificity in a Brazilian semi-deciduous forest. *Plant Biology* 18:920–927.
- Pardini, R., D. Faria, G. M. Accacio, R. R. Laps, E. Mariano-Neto, M. L. B. Paciencia, M. Dixo, and J. Baumgarten. 2009. The challenge of maintaining Atlantic forest biodiversity: A multi-taxa conservation assessment of specialist and generalist species in an agro-forestry mosaic in southern Bahia. *Biological Conservation* 142:1178–1190.
- Parrini, R., and M. A. Raposo. 2008. Associação entre aves e flores de duas espécies de árvores do gênero *Erythrina* (Fabaceae) na Mata Atlântica do sudeste do Brasil. *Iheringia. Série Zoologia* 98:123–128.
- Passos, L., and M. Sazima. 1995. Reproductive Biology of the Distylous *Manettia luteo-rubra* (Rubiaceae). *Botanica Acta* 108:309–313.
- Pelligrinotti, A., H. Malaguetta, D. G. Luvizotto, J. L. Souza, and Parise, B. 2010. Biologia reprodutiva de *Quesnelia arvensis* em indivíduos de borda e interior da restinga da Ilha Comprida, litoral sul de São Paulo. Page Anais do 8º Simposio de Ensino de Graduação da 8º Mostra Acadêmica da Unimep. Piracicaba, Brazil.
- Peracchi, A. L., and S. T. Albuquerque. 1993. Quirópteros do município de Linhares, estado do Espírito Santo, Brasil (Mammalia, Chiroptera). *Revista Brasileira de Biologia* 54:575–581.
- Pereira, M. F. P. de A. 1998. Biologia da polinização de duas espécies simpátricas de Alcanthacear, na região de Campinas, São Paulo.
- Perret, M., A. Chautems, R. Spichiger, M. Peixoto, and V. Savolainen. 2001. Nectar sugar composition in relation to pollination syndromes in *Sinningieae* (Gesneriaceae). *Annals of Botany* 87:267–273.
- Peterle, P. L., A. B. Galvêas, and L. D. Thomaz. 2007. Biologia Floral e Polinização de *Pseudobombax Grandiflorum* (Cav.) A. Rob. (Bombacaceae) na região de Barra do Jucu - Vila Velha - ES. Page Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu, Brasil.
- Piacentini, V. D. Q., and I. G. Varassin. 2007. Interaction network and the relationships between bromeliads and hummingbirds in an area of secondary Atlantic rain forest in southern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 23:663–671.
- Piacentini, V. de Q., A. Aleixo, C. E. Agne, G. N. Mauricio, J. F. Pacheco, G. A. Bravo, G. R. R. Brito, L. N. Naka, F. Olmos, S. Posso, L. F. Silveira, G. S. Betini, E. Carrano, I. Franz, A. C. Lees, L. M. Lima, D. Pioli, F. Schunck, F. R. Amaral, G. A. Bencke, M. Cohn-Haft, L. F. Figueiredo, F. C. Straube, and E. Cesari. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee. *Revista Brasileira de Ornitologia* 23:91–298.

- Piechowski, D., S. Dötterl, and G. Gottsberger. 2010. Pollination biology and floral scent chemistry of the Neotropical chiropterophilous *Parkia pendula*. *Plant Biology* 12:172–182.
- Pinto, A. R. 2017. Integração fenotípica, distilia e polinização generalista em *Psychotria nuda* (Rubiaceae). Instituto de Pesquisa Jardim Botânico, Rio de Janeiro, Brazil.
- Piratelli, A. J. 1992. Ecologia comportamental de beija-flores em duas espécies de *Hippeastrum* herb. (Amaryllidaceae) na região de Atibaia, Estado de São Paulo.
- Piratelli, A. J. 1993. Comportamento alimentar de Beija-Flores em flores de *Inga* ssp (Leguminosae, Mimosoidae) e *Jacaratia spinosa* (Caricaceae) em um fragmento florestal do sudeste brasileiro. *Ipef* 46:43–51.
- Pizo, M. A. 1996. Feeding ecology of two *Cacicus* species (Emberizidae, Icterinae). *Ararajuba* 4:87–92.
- Pizo, M. A., I. Simão, and M. Galetti. 1995. Diet and flock size of sympatric parrots in the Atlantic forest of Brazil. *Ornitologia neotropical*:87–95.
- Pyke, G. H., J. R. M. Kalman, D. M. Bordin, L. Blanes, and P. A. Doble. 2020. Patterns of floral nectar standing crops allow plants to manipulate their pollinators. *Scientific Reports* 10:1660.
- Quirino, Z., and I. Machado. 2001. Biologia da polinização e da reprodução de três espécies de *Combretum* Loefl. (Combretaceae). *Revista Brasileira de Botânica* 24:181–193.
- Ratto, F., B. I. Simmons, R. Spake, V. Zamora-Gutierrez, M. A. MacDonald, J. C. Merriman, C. J. Tremlett, G. M. Poppy, K. S. Peh, and L. V. Dicks. 2018. Global importance of vertebrate pollinators for plant reproductive success: a meta-analysis. *Frontiers in Ecology and the Environment* 16:82–90.
- Regan, E. C., L. Santini, L. Ingwall-King, M. Hoffmann, C. Rondinini, A. Symes, J. Taylor, and S. H. M. Butchart. 2015. Global Trends in the Status of Bird and Mammal Pollinators. *Conservation Letters* 8:397–403.
- Ribeiro, M. C., J. P. Metzger, A. C. Martensen, F. J. Ponzoni, M. M. Hirota, M. Cezar, J. Paul, A. Camargo, and F. Jorge. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142:1141–1153.
- Richman, S. K., R. E. Irwin, J. T. Bosak, and J. L. Bronstein. 2018. Consequences of secondary nectar robbing for male components of plant reproduction. *American Journal of Botany* 105:943–949.
- Ricklefs, R. E., and S. S. Renner. 1994. Species richness within families of flowering plants. *Evolution* 48:1619–1636.
- Rocca, M. A. 2006. Recurso floral para aves em uma comunidade de Mata Atlântica de encosta: sazonalidade e distribuição vertical.
- Rocca, M. A., and M. Sazima. 2008. Ornithophilous canopy species in the Atlantic rain forest of southeastern Brazil. *Journal of Field Ornithology* 79:130–137.
- Rocca, M. A., and M. Sazima. 2013. Quantity versus quality: Identifying the most effective pollinators of the hummingbird-pollinated *Vriesea rodigasiana* (Bromeliaceae). *Plant Systematics and Evolution* 299:97–105.

- Rocca, M. a., M. Sazima, and I. Sazima. 2006. Woody woodpecker enjoys soft drinks: The blond-crested woodpecker seeks nectar and pollinates canopy plants in south-eastern Brazil. *Biota Neotropica* 6:1–9.
- Rocha, C. F. D., D. Vrcibradic, V. a. Menezes, and C. V. Ariani. 2009. Ecology and Natural History of the Easternmost Native Lizard Species in South America, *Trachylepis atlantica* (Scincidae), from the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil. *Journal of Herpetology* 43:450–459.
- Rodrigues, M. S. 2008. Partilha de recursos florais por beija-flores em uma área de Mata Atlântica na Ilha da Marambaia, RJ.
- Rogalski, J. M., A. Reis, M. S. D. Reis, and K. V. Hmeljevski. 2009. Biologia reprodutiva da reófito *Dyckia brevifolia* Baker (Bromeliaceae), no Rio Itajaí-Açu, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 32:691–702.
- Ruschi, A. 1949. A polinização realizada pelos Trochilíneos, a sua área de alimentação e repovoamento. *Boletim do Museu Prof. Mello-Leitão* 2:1–51.
- Rylands, A. B. 1989. Sympatric Brazilian callitrichids: The Black Tufted-Ear Marmoset, *Callithrix kuhli*, and the Golden-headed Lion Tamarin, *Leontopithecus chrysomelas*. *Journal of Human Evolution* 18:679–695.
- Safford, H. D. 1999a. Brazilian Páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* 26:693–712.
- Safford, H. D. 1999b. Brazilian Páramos II. Macro- and mesoclimate of the campos de altitude and affinities with high mountain climates of the tropical Andes and Costa Rica. *Journal of Biogeography* 26:713–737.
- San Martin-Gajardo, I. 2004. Biologia da polinização de espécies da tribo Sinningieae (Gesneriaceae) no sudeste do Brasil.
- San Martin-Gajardo, I., and L. Freitas. 1999. Hummingbird pollination in *Besleria longimucronata* Hoehne (Gesneriaceae) in Southeastern Brazil. *Biociências* 7:13–24.
- Sanmartin-Gajardo, I., and M. Sazima. 2005a. Chiropterophily in sinningieae (Gesneriaceae): *Sinningia brasiliensis* and *Paliavana prasinata* are bat-pollinated, but *P. sericiflora* is not. Not yet? *Annals of Botany* 95:1097–1103.
- Sanmartin-Gajardo, I., and M. Sazima. 2005b. Espécies de *Vanhouttea* Lem. e *Sinningia* Nees (Gesneriaceae) polinizadas por beija-flores: Interações relacionadas ao hábitat da planta e ao néctar. *Revista Brasileira de Botânica* 28:441–450.
- SanMartin-Gajardo, I., and J. R. S. Vianna. 2010. Pollination of *Nematanthus brasiliensis*: An Epiphytic Gesneriaceae Endemic to the Southeastern Atlantic Forests of Brazil. *Selbyana* 30:216–220.
- Santos, C. G. M. 2000. Distribuição espacial, fenologia e polinização de bromeliaceae na Mata Atlântica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP.
- Sato, T. M., M. C. de Carvalho-Ricardo, W. Uieda, and F. C. Passos. 2015. Estrutura da comunidade de morcegos (Mammalia, Chiroptera) da Estação Experimental de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil. *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)* 55:1–11.
- Sazima, I. 1976. Observations on the Feeding Habits of Phyllostomatid Bats (*Carollia*, *Anoura*, and *Vampyrops*) in Southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy* 57:381–382.

- Sazima, I., S. Buzato, and M. Sazima. 1993. The bizarre inflorescence of *Norantea brasiliensis* (Marcgraviaceae): Visits of hovering and perching birds. *Botanica Acta* 106:507–513.
- Sazima, I., S. Buzato, and M. Sazima. 1996. An assemblage of hummingbird-pollinated flowers in a montane forest in southeastern Brazil. *Botanica Acta* 109:149–160.
- Sazima, I., S. Buzato, M. Sazima, S. Buzato, and M. S. T. S. H. Ram-. 1995a. The saw-billed hermit *Ramphodon naevius* and its flowers in southeastern Brazil. *Journal fur Ornithologie* 136:195–206.
- Sazima, I., W. Fischer, M. Sazima, and E. Fischer. 1994a. The fruit bat *Artibeus lituratus* as a forest and city dweller (1994). *Ciência & Cultura* 46:164–168.
- Sazima, I., C. Sazima, and M. Sazima. 2005. Little dragons prefer flowers to maidens: A lizard that laps nectar and pollinates trees. *Biota Neotropica* 5:185–192.
- Sazima, I., and M. Sazima. 1977. Solitary and group foraging - two flower-visiting patterns of lesser spear-nosed bat *Phyllostomus discolor*. *Web of Science*.
- Sazima, M., S. Buzato, and I. Sazima. 1995b. Bat pollination of *Vriesea* in southeastern Brazil. *Bromélia* 2:29–37.
- Sazima, M., S. Buzato, and I. Sazima. 1999. Bat-pollinated flower assemblages and bat visitors at two Atlantic forest sites in Brazil. *Annals of Botany* 83:705–712.
- Sazima, M., S. Buzato, and I. Sazima. 2003. *Dysochroma viridiflorum* (Solanaceae): A reproductively bat-dependent epiphyte from the Atlantic rainforest in Brazil. *Annals of Botany* 92:725–730.
- Sazima, M., and I. Sazima. 1978. Bat Pollination of the Passion Flower, *Passiflora mucronata*, in Southeastern Brazil. *Biotropica*.
- Sazima, M., and I. Sazima. 1980. Bat visits to *Marcgravia myriostigma* Tr. et Planch. (Marcgraviaceae) in southeastern Brazil. *Flora* 169:84–88.
- Sazima, M., and I. Sazima. 1987. Additional observations on *Passiflora mucronata*, the bat-pollinated passionflower. *Ciência e Cultura* 39:310–312.
- Sazima, M., and I. Sazima. 1988. *Helicteres-Ovata* (Sterculiaceae), Pollinated By Bats in Southeastern Brazil. *Botanica Acta* 101:269–271.
- Sazima, M., and I. Sazima. 1995. Os beija-flores e suas flores. Pages 60–63 *Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra*. Editora da Unicamp, Campinas, Brasil.
- Sazima, M., and I. Sazima. 1999. The perching bird *Coereba flaveola* as a co-pollinator of bromeliad flowers in southeastern Brazil. *Canadian Journal of Zoology* 77:47–51.
- Sazima, M., I. Sazima, and S. Buzato. 1994b. Nectar by day and night: *Siphocampylus sulfureus* (Lobeliaceae) pollinated by hummingbirds and bats. *Plant Systematics and Evolution* 191:237–246.
- Scarano, F. 2002. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany* 90:517–524.
- Scarano, F. R. 2007. Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Brazilian Journal of Botany* 30:561–568.

- Schemske, D. W., B. C. Husband, M. H. Ruckelshaus, C. Goodwillie, I. M. Parker, and J. G. Bishop. 1994. Evaluating Approaches to the Conservation of Rare and Endangered Plants. *Ecology* 75:585–606.
- Schmid, S., V. S. Schmid, A. Zillikens, B. Harter-Marques, and J. Steiner. 2011a. Bimodal pollination system of the bromeliad *Aechmea nudicaulis* involving hummingbirds and bees. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)* 13 Suppl 1:41–50.
- Schmid, S., V. S. Schmid, A. Zillikens, and J. Steiner. 2011b. Diversity of flower visitors and their role for pollination in the ornithophilous bromeliad *Vriesea friburgensis* in two different habitats in Southern Brazil. *Ecotropica* 17:91–102.
- Scrok, G. J., and I. G. Varassin. 2011. Reproductive biology and pollination of *Aechmea distichantha* Lem. (Bromeliaceae). *Acta Botanica Brasilica* 25:571–576.
- Scultori, H. C. S. 2010. Comunidade de morcegos, interações com flores e estratificação vertical em Mata Atlântica do Sul do Brasil.
- Sigrist, M. R., and M. Sazima. 2002. *Ruellia brevifolia* (Pohl) Ezcurra (Acanthaceae): Fenologia da floração, biologia da polinização e reprodução. *Revista Brasileira de Botânica* 25:35–42.
- Silva, B.G., and A.J. Piratelli. 2014. Foraging behaviour of the Scale-throated Hermit *Phaethornis eurynome* Lesson, 1832 (Aves, Trochilidae) in *Vriesea incurvata* Gaudich (Bromeliaceae). *Brazilian Journal of Biology* 74:311–314.
- Silva, C. A., M. F. Vieira, and C. H. D. Amaral. 2010. Floral attributes, ornithophily and reproductive success of *Palicourea longepedunculata* (Rubiaceae), a distylous shrub in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 33:207–213.
- Silva, L. B. 2008. Ecologia reprodutiva de *Tillandsia stricta* Sol. e *T. gardneri* Lind. (Bromeliaceae), no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Silva, S. S. P. da. 1991. Utilização de recursos florais na alimentação de morcegos filostomídeos no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí-RJ.
- Silva, S. S. P. da, and A. L. Peracchi. 1995. Observação da visita de morcegos (Chiroptera) às flores de *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns. *Revista Brasileira de Zoologia* 12:859–865.
- Silva, S. S. P., and A. L. Peracchi. 1999. Visits of bats to flowers of *Lafoensia glyptocarpa* KOEHNE (LYTHRACEAE). *Revista Brasileira de Biologia* 59:19–22.
- Simon, R., M. W. Holderied, C. Koch, and O. von Helversen. 2011. Floral Acoustics: Conspicuous Echoes of a Dish-Shaped Leaf Attract Bat Pollinators. *Science*.
- Singer, R. B., and M. Sazima. 2000. The pollination of *Stenorrhynchos lanceolatus* (Aublet) L. C. Rich. (Orchidaceae: Spiranthinae) by hummingbirds in southeastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution* 223:221–227.
- Singer, R. B., and M. Sazima. 2001. Flower morphology and pollination mechanism in three sympatric Goodyerinae orchids from southeastern Brazil. *Annals of Botany* 88:989–997.
- Siqueira Filho, J. A. de, and I. C. S. Machado. 2001. Biologia reprodutiva de *Canistrum aurantiacum* E. Morren (Bromeliaceae) em remanescente da Floresta Atlântica, Nordeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 15:427–443.

Siqueira-Filho, J. A. 2003. Fenologia da floração, ecologia da polinização e conservação de Bromeliaceae na Floresta Atlântica Nordeste. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

Sluys, M. V., C. A. Cardozo, R. Mangolin, and C. F. D. Rocha. 2001. Rates of pollinator visitation to *Vriesea procera* (Bromeliaceae) at Ilha Grande, Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *Bromélia* 6:18–24.

Snow, B. K., and D. W. Snow. 1972. Feeding Niches of Hummingbirds in a Trinidad Valley. *Journal of Animal Ecology* 41:471–485.

Snow, D. W., and B. K. Snow. 1986. Feeding ecology of hummingbirds in the Serra do Mar, southeastern Brazil. *El Hornero* 012:286–296.

Snow, D. W., and D. L. Teixeira. 1982. Hummingbirds and their flowers in the coastal mountains of southeastern Brazil. *Journal of Ornithology* 123:446–450.

Souza, R. de F., R. L. M. Novaes, A. Siqueira, C. Sauwen, G. Jacob, C. E. L. Santos, S. Felix, E. Ribeiro, C. Sant’Anna, D. Vrcibradic, L. Avilla, I. Sbragia, and R. T. Santori. 2014. Bats (Mammalia, Chiroptera) in a remnant of Atlantic Forest, Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Neotropical Biology and Conservation* 10:9–14.

Steege, H. ter, N. C. A. Pitman, T. J. Killeen, W. F. Laurance, C. A. Peres, J. E. Guevara, R. P. Salomão, C. V. Castilho, I. L. Amaral, F. D. de A. Matos, L. de S. Coelho, W. E. Magnusson, O. L. Phillips, D. de A. L. Filho, M. de J. V. Carim, M. V. Irumé, M. P. Martins, J.-F. Molino, D. Sabatier, F. Wittmann, D. C. López, J. R. da S. Guimarães, A. M. Mendoza, P. N. Vargas, A. G. Manzatto, N. F. C. Reis, J. Terborgh, K. R. Casula, J. C. Montero, T. R. Feldpausch, E. N. H. Coronado, A. J. D. Montoya, C. E. Zartman, B. Mostacedo, R. Vasquez, R. L. Assis, M. B. Medeiros, M. F. Simon, A. Andrade, J. L. Camargo, S. G. W. Laurance, H. E. M. Nascimento, B. S. Marimon, B.-H. Marimon, F. Costa, N. Targhetta, I. C. G. Vieira, R. Brienen, H. Castellanos, J. F. Duivenvoorden, H. F. Mogollón, M. T. F. Piedade, G. A. A. C, J. A. Comiskey, G. Damasco, N. Dávila, R. García-Villacorta, P. R. S. Diaz, A. Vincentini, T. Emilio, C. Levis, J. Schiatti, P. Souza, A. Alonso, F. Dallmeier, L. V. Ferreira, D. Neill, A. Araujo-Murakami, L. Arroyo, F. A. Carvalho, F. C. Souza, D. D. do Amaral, R. Gribel, B. G. Luize, M. P. Pansonato, E. Venticinque, P. Fine, M. Toledo, C. Baraloto, C. Cerón, J. Engel, T. W. Henkel, E. M. Jimenez, P. Maas, M. C. P. Mora, P. Petronelli, J. D. C. Revilla, M. Silveira, J. Stropp, R. Thomas-Caesar, T. R. Baker, D. Daly, M. R. Paredes, N. F. da Silva, A. Fuentes, P. M. Jørgensen, J. Schöngart, M. R. Silman, N. C. Arboleda, B. B. L. Cintra, F. C. Valverde, A. D. Fiore, J. F. Phillips, T. R. van Andel, P. von Hildebrand, E. M. Barbosa, L. C. de M. Bonates, D. de Castro, E. de S. Farias, T. Gonzales, J.-L. Guillaumet, B. Hoffman, Y. Malhi, I. P. de A. Miranda, A. Prieto, A. Rudas, A. R. Ruschell, N. Silva, C. I. A. Vela, V. A. Vos, E. L. Zent, S. Zent, A. Cano, M. T. Nascimento, A. A. Oliveira, H. Ramirez-Angulo, J. F. Ramos, R. Sierra, M. Tirado, M. N. U. Medina, G. van der Heijden, E. V. Torre, C. Vriesendorp, O. Wang, K. R. Young, C. Baider, H. Balslev, N. de Castro, W. Farfan-Rios, C. Ferreira, C. Mendoza, I. Mesones, A. Torres-Lezama, L. E. U. Giraldo, D. Villarroya, R. Zagt, M. N. Alexiades, K. Garcia-Cabrera, L. Hernandez, I. Huamantupa-Chuquimaco, W. Milliken, W. P. Cuenca, S. Pansini, D. Pauletto, F. R. Arevalo, A. F. Sampaio, E. H. V. Sandoval, and L. V. Gamarra. 2015. Estimating the global conservation status of more than 15,000 Amazonian tree species. *Science Advances* 1:e1500936.

Stein, K., and I. Hensen. 2013. The reproductive biology of two understory plants in the Atlantic rain forest, Brazil. *Ecological Research* 28:593–602.

Teixeira, L. A. G. 2005. Mecanismos de polinização e sistema reprodutivo de espécies de Maranthaceae da Estação Ecológica do Tapacurá, Pernambuco, Nordeste do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

- Teixeira, L. a. G., and I. C. Machado. 2004. *Sabicea cinerea* Aubl. (Rubiaceae): Distilia e polinização em um fragmento de floresta Atlântica em Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 27:193–204.
- Temeles, E. J., C. R. Koulouris, S. E. Sander, and W. J. Kress. 2009. Effect of flower shape and size on foraging performance and trade-offs in a tropical hummingbird. *Ecology* 90:1147–1161.
- Tschapka, M. 2004. Energy density patterns of nectar resources permit coexistence within a guild of Neotropical flower-visiting bats. *Journal of Zoology* 263:7–21.
- Vamosi, J. C., T. M. Knight, J. A. Steets, S. J. Mazer, M. Burd, and T. Ashman. 2006. Pollination decays in biodiversity hotspots. *PNAS* 103:956–961.
- Varassin, I. G. 2002. Estrutura espacial e temporal de uma comunidade de bromeliaceae e seus polinizadores em floresta atlantica no sudeste do Brasil.
- Varassin, I. G., and M. Sazima. 2012. Spatial heterogeneity and the distribution of bromeliad pollinators in the Atlantic Forest. *Acta Oecologica* 43:104–112.
- Varassin, I. G., J. R. Trigo, and M. Sazima. 2001. The role of nectar production, flower pigments and odour in the pollination of four species of *Passiflora* (Passifloraceae) in south-eastern Brazil. *Botanical Journal of the Linnean Society* 136:139–152.
- Varzinczak, L. H., I. P. Bernardi, and F. C. Passos. 2016. Is the knowledge of bat distribution in the Atlantic Rainforest sufficient? Comments about new findings and a case study in the Paraná State coastal area, Brazil. *Mammalia* 80:263–269.
- Vasconcellos, N. C., and L. Freitas. 2007. Floral resources for hummingbirds in the arboretum of the Rio de Janeiro Botanical Garden, Brazil. *Davidsonia* 18:3–15.
- Verçosa, F. C., G. Martinelli, J. F. A. Baumgratz, and C. E. L. Esbérard. 2012. Polinização e dispersão de sementes de *Dysochroma viridiflora* (Sims) Miers (Solanaceae) por morcegos no Parque Nacional da Tijuca, um remanescente de Floresta Atlântica no sudeste do Brasil. *Natureza On Line* 10:7–11.
- Vieira, M. F., and R. M. Carvalho-Okano. 1996. Pollination biology of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae) in Southeastern Brazil. *Biotropica* 28:61–68.
- Vieira, M. F. V., R. M. Carvalho-Okano, and M. Sazima. 1991. The common opossum, *Didelphis marsupialis*, as a pollinator of *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae). *Ciência e Cultura* 43:390–393.
- Vitali-Veiga, M. J., and V. L. L. Machado. 2000. Visitantes florais de *Erythrina speciosa* Andr. (Leguminosae). *Revista Brasileira de Zoologia* 17:369–383.
- Vizentin-Bugoni, J., P. K. Maruyama, V. J. Debastiani, L. da S. Duarte, B. Dalsgaard, and M. Sazima. 2016. Influences of sampling effort on detected patterns and structuring processes of a Neotropical plant-hummingbird network. *Journal of Animal Ecology* 85:262–272.
- Vizentin-Bugoni, J., P. K. Maruyama, and M. M. Sazima. 2014. Processes entangling interactions in communities: Forbidden links are more important than abundance in a hummingbird-plant network. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281:20132397–20132397.
- Vogel, S. 1968. Chiropterophilie in der neotropischen Flora: Neue Mitteilungen I. *Flora oder Allgemeine botanische Zeitung. Abt. B, Morphologie und Geobotanik* 157:562–602.
- Vogel, S. 2015. Vertebrate pollination in Compositae: Floral syndromes and field observations. *Stapfia* 103:5–26.

- Vosgueritchian, S. B., and S. Buzato. 2006. Reprodução sexuada de *Dyckia tuberosa* (Vell.) Beer (Bromeliaceae, Pitcairnioideae) e interação planta-animal. *Revista Brasileira de Botânica* 29:433–442.
- Weinstein, B. G., and C. H. Graham. 2017. Persistent bill and corolla matching despite shifting temporal resources in tropical hummingbird-plant interactions. *Ecology Letters* 20:326–335.
- Wendt, T., M. B. F. Canela, D. E. Klein, and R. I. Rios. 2002. Selfing facilitates reproductive isolation among three sympatric species of *Pitcairnia* (Bromeliaceae). *Plant Systematics and Evolution* 232:201–212.
- Wendt, T., T. S. Coser, G. Matallana, and F. A. G. Guilherme. 2008. An apparent lack of prezygotic reproductive isolation among 42 sympatric species of Bromeliaceae in southeastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution* 275:31–41.
- Wendt, T., M. B. Ferreira Canela, A. P. Gelli De Faria, and R. Iglesias Rios. 2001. Reproductive biology and natural hybridization between two endemic species of *Pitcairnia* (Bromeliaceae). *American Journal of Botany* 88:1760–1767.
- Wolowski, M., T. L. Ashman, and L. Freitas. 2013a. Community-wide assessment of pollen limitation in hummingbird-pollinated plants of a tropical montane rain forest. *Ann. Bot.* 112:903–910.
- Wolowski, M., C. E. P. Nunes, F. W. Amorin, J. Vizentin-Bugoni, I. Aximoff, P. K. Maruyama, P. K. Brito, and L. Freitas. 2016. Interação entre planta-polinizador em vegetação de altitude na Mata Atlântica. *Oecologia Australis* 20:7–23.
- Wolowski, M., C. F. Saad, T. L. Ashman, and L. Freitas. 2013b. Predominance of self-compatibility in hummingbird-pollinated plants in the Neotropics. *Naturwissenschaften* 100:69–79.
- Zappi, D. C., F. L. Ranzato Filardi, P. Leitman, V. C. Souza, B. M. T. Walter, J. R. Pirani, M. P. Morim, L. P. Queiroz, T. B. Cavalcanti, V. F. Mansano, and R. C. Forzza. 2015. Growing knowledge: An overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguesia* 66:1085–1113.

FIGURES

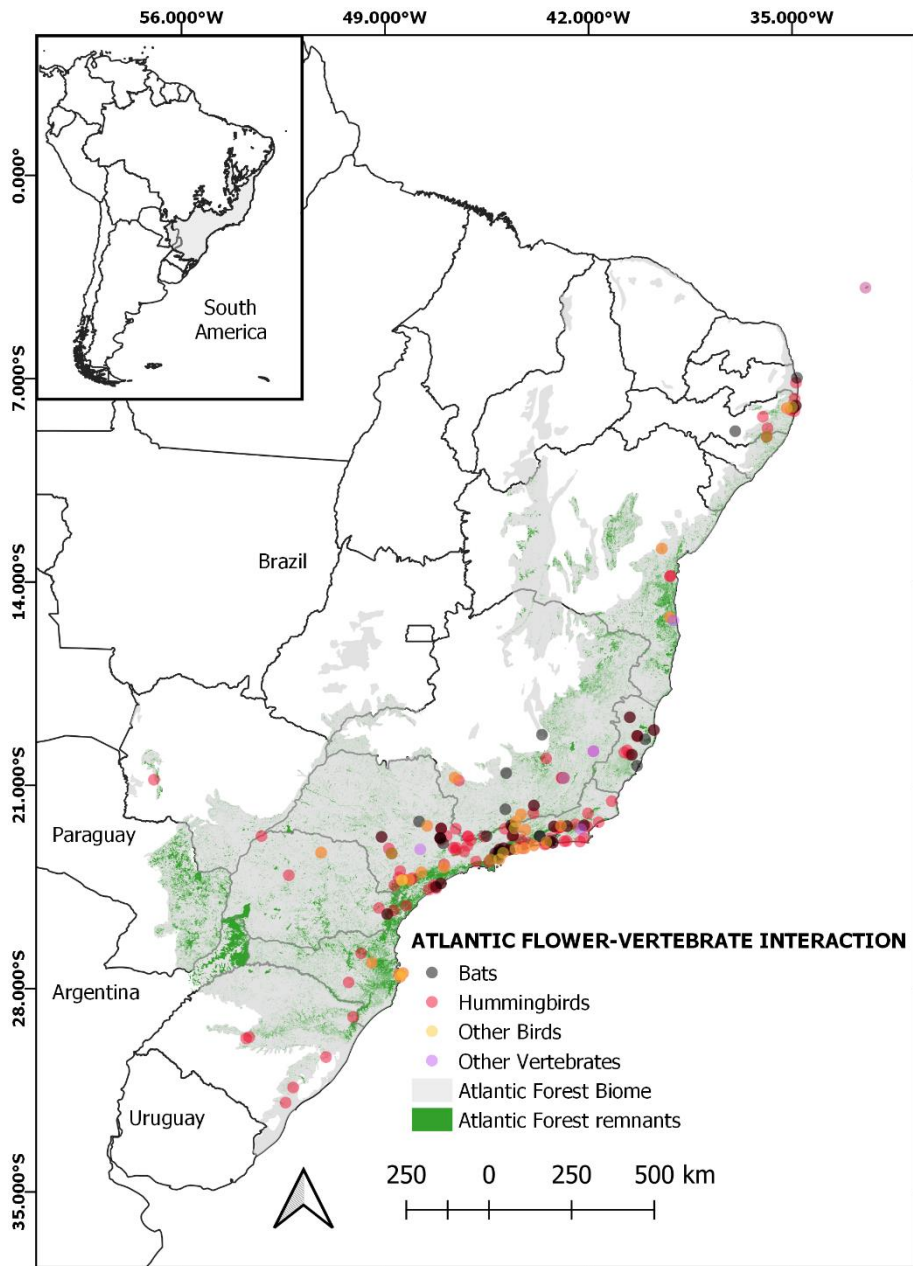


Figure 1. Distribution of the flower-vertebrate interaction studies according to the Bioregions of the Atlantic Forest biome. The colors show the domain of the Atlantic Forest classified to bioregions according to the map of (Olson et al. 2001; Muylaert et al. 2017). The dots show the locations of the original studies reporting plant-vertebrate interactions for each group. Light gray lines show the states of Brazil.

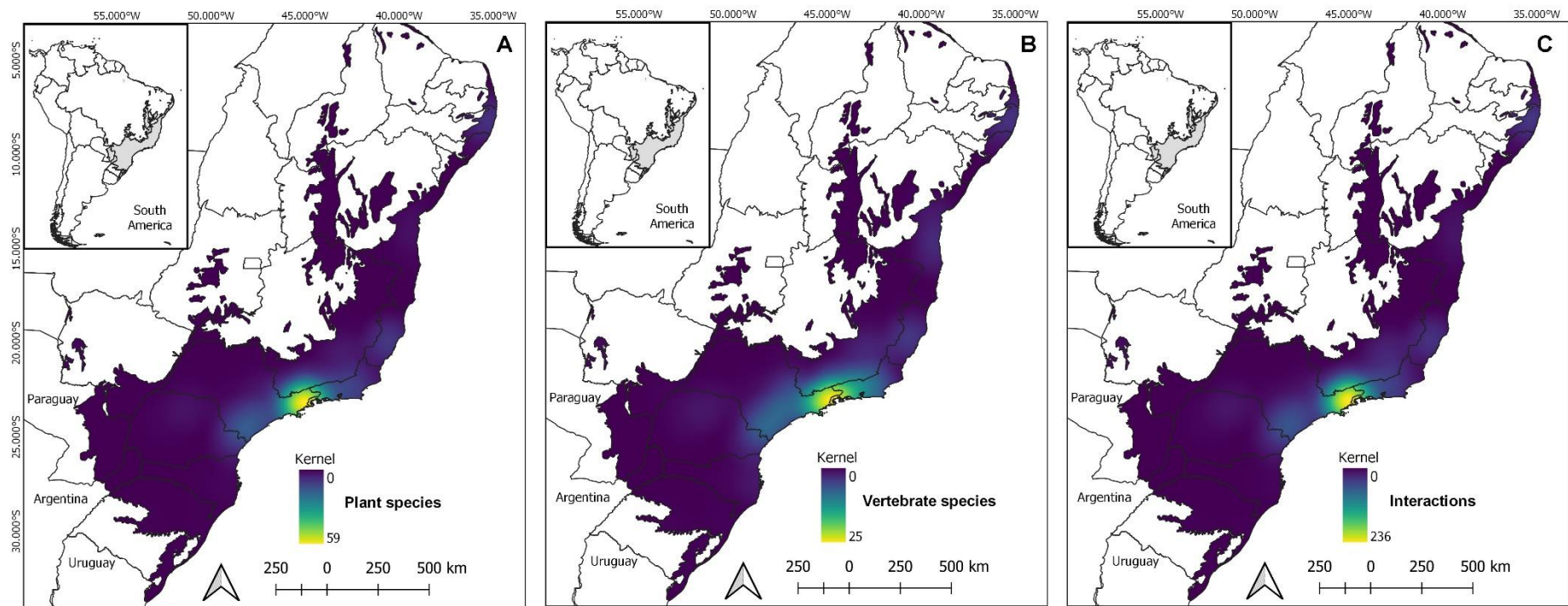


Figure 2. Kernel density of study sites in the flower-vertebrate interaction dataset: plant species (A), vertebrate species (B) and interactions (C). Kernel density map for 160 study sites, made with 2^0 (~220 km) of radius and 0.0083^0 (~1 km) of resolution, using 'quartic' kernel method from 'v.kernel' module in GRASS GIS (Okabe et al. 2009, Neteler et al. 2012). The color scale was made with five equal intervals, using 'viridis' color palette in QGIS.

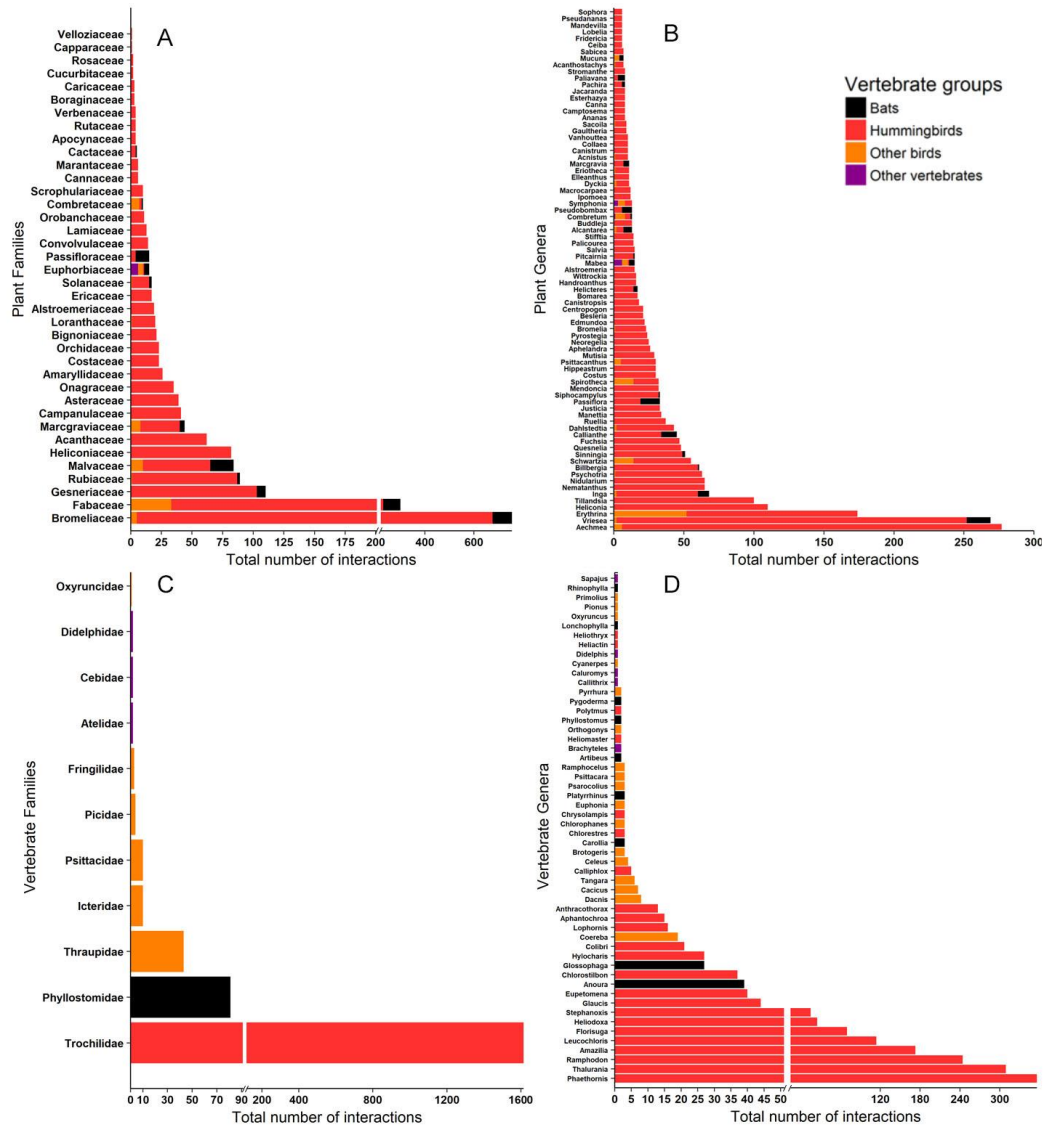


Figure 3. Distribution of the number of interaction associated to each vertebrate pollinator groups on the family and genera of flowering plants (A-B), and family and genera vertebrates (C-D).

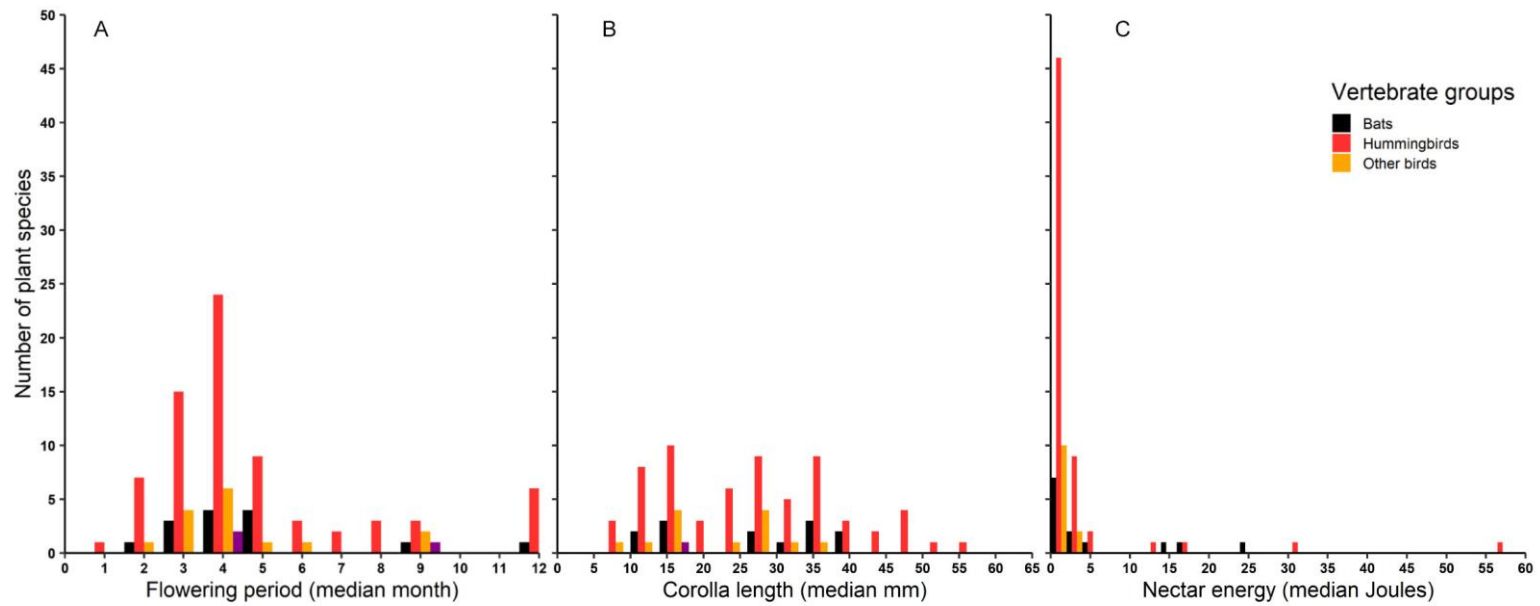


Figure 4. Frequency distributions of flowering period (A), corolla length (B) and nectar energy (C) for plant species pollinated by each vertebrate groups.

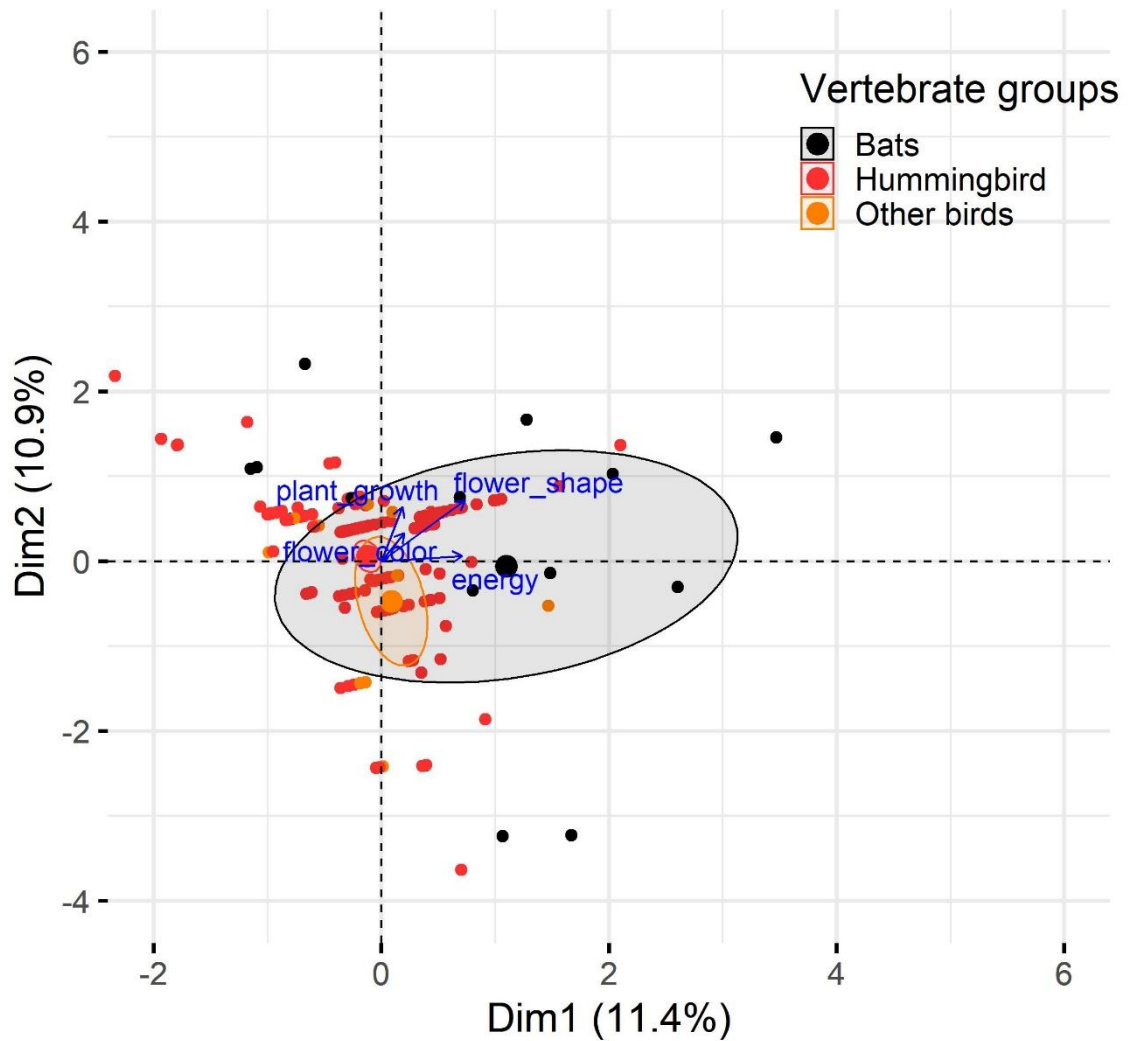


Figure 5. Factor analysis relating plant traits to animal groups. Plant traits included are plant growth, color and shape of flowers, presence or absence of odor, time of anthesis (day, night or both), mean corolla length and production of energy (Joules). Arrows represent the relative magnitude of correlation of the main variables with the first two axes of the ordination.

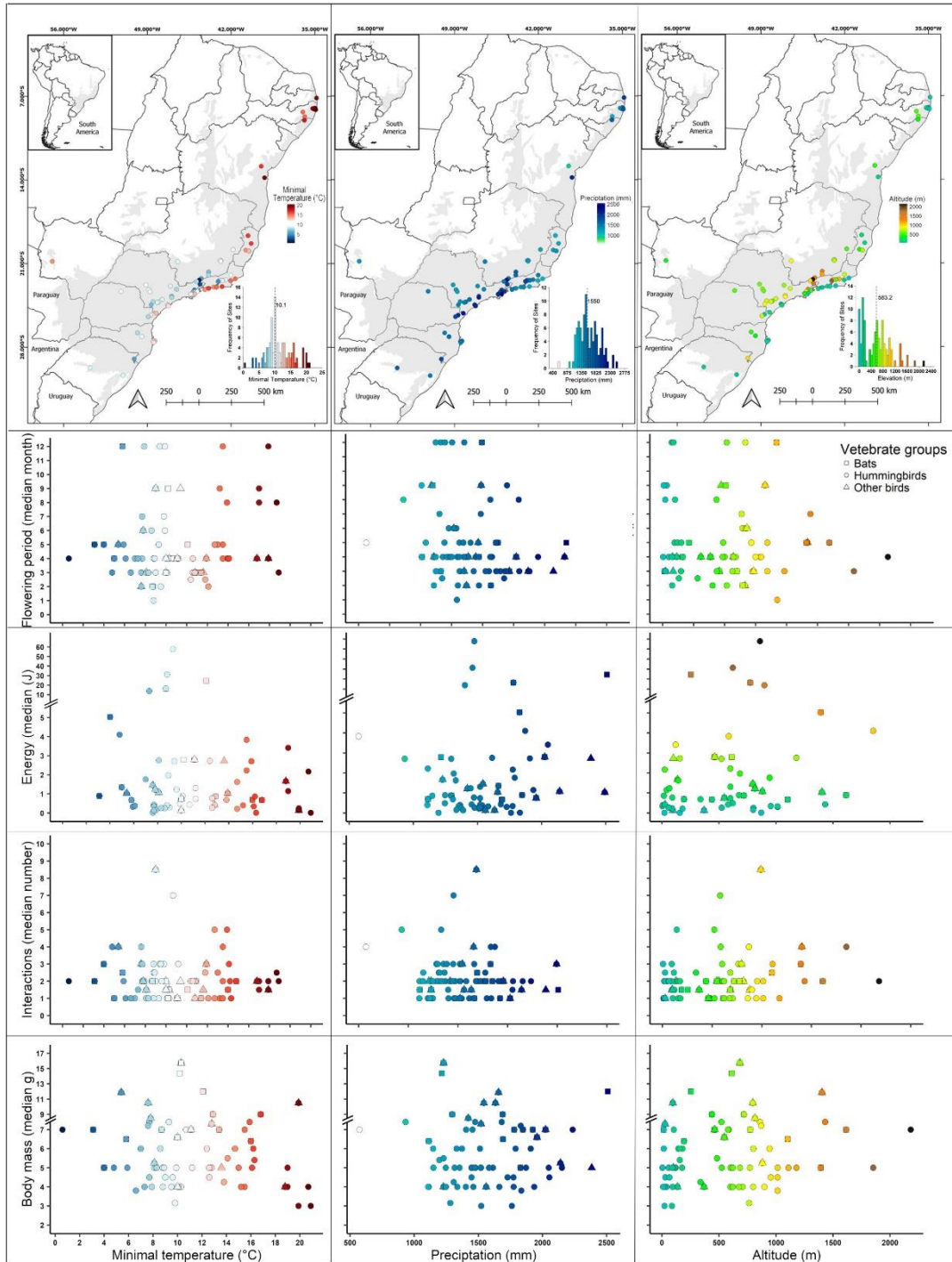


Figure 6. Spatial distributions maps, histograms and medians (dashed lines) of the values of the minimum temperature in Celsius degrees (left), precipitation in millimeters (middle) and elevation in meters (right) of the study sites in the flower vertebrate interaction dataset. Below each map, plotted against flowering period, energy per flower, number of interactions and body mass is minimal temperature (left), precipitation in millimeters (middle) and elevation in meters (right).

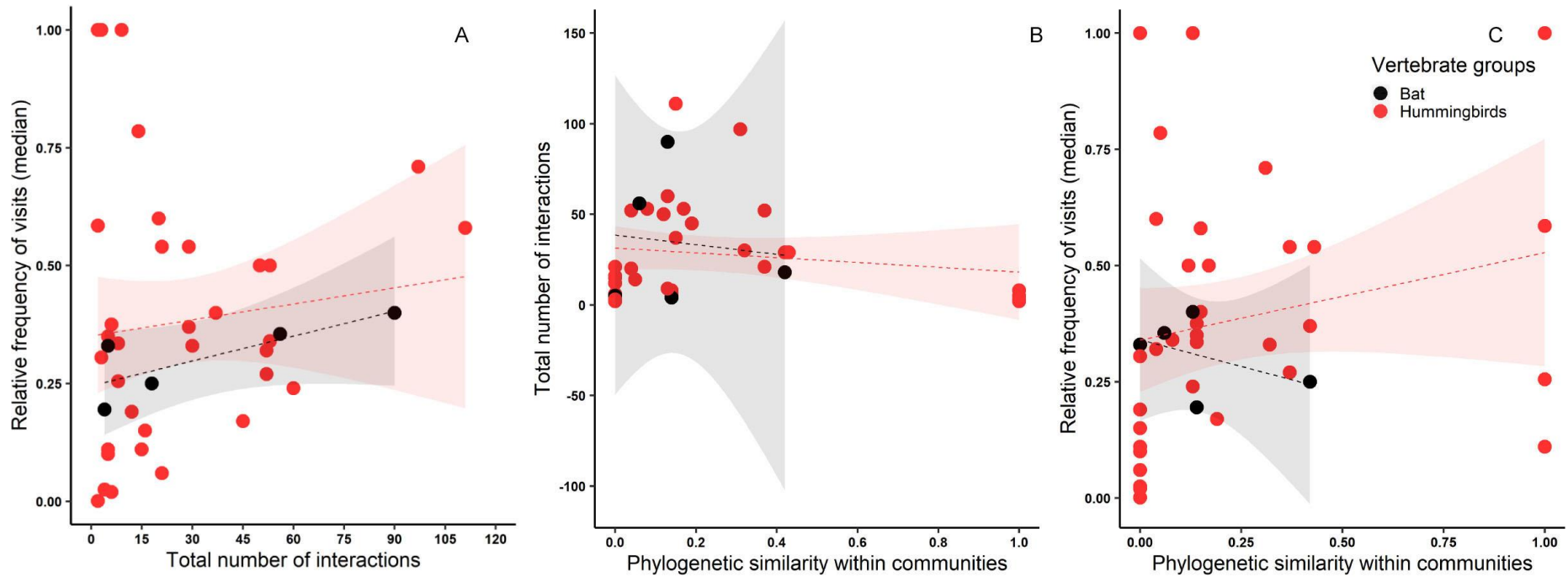


Figure 7. Plotted against sampled relative frequency of visits (median) is total number of interactions for hummingbirds ($slope = 0.001$, $R^2 = 0.01$) and bats ($slope = 0.001$, $R^2 = 0.63$) (A), plotted against sampled total number of interactions is phylogenetical similarity within communities for hummingbirds ($slope = -13.25$, $R^2 = 0.02$) and bats ($slope = -26.63$, $R^2 = 0.04$) (B), plotted against relative frequency of visits (median) is phylogenetic similarity within communities for hummingbirds ($slope = 0.19$, $R^2 = 0.05$) and bats ($slope = -0.23$, $R^2 = 0.20$) (C).

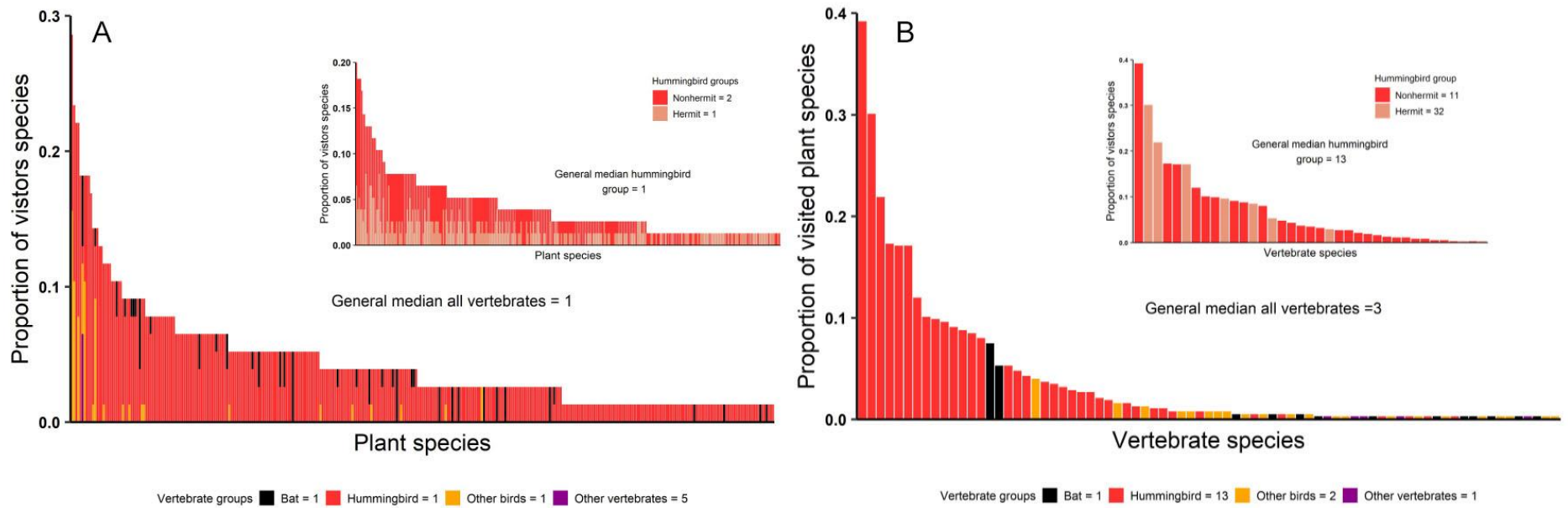


Figure 8. Proportion of visiting vertebrate by plant species (A) and proportion of plant species visited by vertebrate species (B) for each group of vertebrate. In details there is the proportion of each group of hummingbirds, Nonhermtis (former Trochilinae subfamily) and Hermits(former Phaethornithinae subfamily) in each situation.

CAPÍTULO 2

EVOLUTIONARY INFERENCES ON THE COMMUNITY ORGANIZATION OF FLOWER-HUMMINGBIRD INTERACTIONS IN THE BRAZILIAN ATLANTIC RAINFOREST

Iamara-Nogueira, J. et al. 2020 under revision by authors. It should be submitted up to the end of 2020.

Correspondence and requests for materials should be addressed to Joice Iamara-Nogueira or Silvana Buzato (email: joice.iamara@gmail.com; sbuzato@usp.br).

INTRODUCTION

Interactions between species is a key feature of communities structure because it can influence patterns of species coexistence (Sargent and Ackerly 2008; Louthan et al. 2015), and might contribute to the occurrence of clades in an area (Giannini et al. 2011). In addition, the degree of dependence between species also influence patterns of species coexistence and the structure of ecological networks (Thompson 2005; Olesen et al. 2007). In pollination systems, theory suggests that plants should specialize on the most effective or abundant pollinator because of the high pollinator contribution to the plant fitness (Stebbins 1970) or generalize when the availability of the most effective pollinator is unpredictable over time (Johnson and Steiner 2000). As a classical theme, specialization and generalization on plant-pollination has long been debated (Buzato et al. 1994; Waser et al. 1996; Johnson and Steiner 2000; Armbruster 2017). Some suggested that specialization is rare and generalization is the rule (Waser et al. 1996), while others pointed out that plants and pollinators occupy several places in a continuum from extreme specialization to extreme generalization (Johnson and Steiner 2000; Armbruster 2017). Specialization may also occur in a cryptic manner, in which floral visitors vary in their effectiveness as pollinators (Pellmyr and Thompson 1996). In fact, the degree of specialization vary widely in plant-pollination (Pauw 2019), probably

due variation in morphological traits of interacting species and behavior (Ings et al. 2009; Armbruster 2017).

In bird pollination systems, the degree of dependence of interactors species is highly variable (Pauw 2019) but in plant-hummingbirds systems, the association might be more specialized (Feinsinger and Colwell 1978; Cotton 2008; Graham et al. 2009). Striking examples on such specialization are with plants from the genus *Heliconia* (Martén-Rodríguez et al. 2011; Temeles et al. 2013; Rodríguez-Flores et al. 2019) and *Nidularium* (Fonseca et al. 2016). The degree of specialization or generalization between hummingbirds and plants might be influenced by several non-mutually exclusive factors (Vizentin-Bugoni et al. 2014). The species trait hypothesis claims that morphology constrain the number, type and strength of interactions (Stiles and Stiles 1975; Maglianesi et al. 2014, 2015) and specialized morphologies enhance the quality of pollen receipt by plants (Betts et al. 2015). Furthermore, a lot of energy is required to hover, making hummingbird-plant associations a high energetic system (Feinsinger and Chaplin 1975; Suarez 1992). This may cause interference and exploitation competition among hummingbirds (Feinsinger et al. 1979). Taking together, differences in morphology and energetic requirements lead to differences in foraging behaviors (Feinsinger et al. 1979; Cotton 2008), generating two distinct ecological groups: hermits (former Phaethornithinae subfamily) and nonhermits (former Trochilinae subfamily). Hermits usually presents a more specialized morphology and trapiliner behavior, which allows them to visit multiple plants in a single bout while the aggressive behavior of territorial hummingbirds prevents visit from hermits in clumped plants (Torres-Vanegas et al. 2019). Associated with the episodic-like memory of hummingbirds and the fact that they are well oriented spatially (Jelbert et al. 2014; Pritchard et al. 2016), different foraging behaviors affects the patterns of gene flow in distinct fashion, with trapiliner, i.e. hermits hummingbirds having a higher impact on the genetic structure of communities (Torres-Vanegas et al. 2019).

Changes on the relative importance of hermits and nonhermits between communities might occur across spatial scales because of variation on local environmental conditions and differences in the metabolic rates between hermits and nonhermits associated with the wing disc loading (ratio of body mass and diameter of

wing span) and costs of hovering (Feinsinger and Chaplin 1975; Feinsinger and Colwell 1978). In this context, environmental conditions act as a filter so that the distribution of hermits hummingbirds declines towards higher latitudes (Rodríguez-Flores et al. 2019) and elevations (Stiles 1978; Feinsinger et al. 1979; Graham et al. 2009). The absence of hermits hummingbirds in high elevations and latitudes might also acts as a habitat filter if it prevents the presence of certain plant species in the community (Sargent and Ackerly 2008; Louthan et al. 2015). Thus, communities of plant and hummingbirds should be more specialized in lower latitudes and elevations when compared to higher latitudes and elevations. Greater specialization is expected in tropics because its environmental conditions favors natural selection by biotic interactions, leading to a great variety of morphological adaptation (MacArthur 1969). Although this concept is prone to debate since empirical studies showed controversial results (Ollerton and Cranmer 2002; Dalsgaard et al. 2011; Morris et al. 2014), there is evidence for higher morphological matching and resource specialization in hummingbird and plants closer to the tropics (Sonne et al. 2020). As for elevation, montane communities tends to have less hummingbirds species than in lowland, leading to overlap in resource use (Sazima et al. 1996; Buzato et al. 2000; Maglianesi et al. 2015), non-conservatism of floral traits and even phylogenetic pattern (Wolowski et al. 2017). Both hummingbird species and individuals are more specialized in low and mid elevations than in high elevations (Maglianesi et al. 2015).

Hummingbird functional traits influencing the degree of specialization also determine the pollination niche of plants (Phillips et al. 2020). This concept is useful to understand the origins and the maintenance of species coexistence and distribution (Phillips et al. 2020). The pollination niche might be identify throughout modularity in interactions networks (Phillips et al. 2020). Modularity occurs when networks are organized in compartments of nodes that interacts more prominently with each other and they might be the result of a long term reciprocal selection and coevolution, leading to trait convergence between interacting species (Olesen et al. 2007). For many years, studies of interactions and coevolution have focused on pairwise interactions (Strauss and Irwin 2004) searching for congruency between phylogenies of parasites and their hosts (Demastes and Hafner 1993; Da Graça et al. 2018), based on Fahrenholz's Rule, in

which coevolution can lead to similarity in phylogenies topologies, and host and parasite phylogeny would mirror each other (Brooks 1985). Although pairwise interactions are uncommon in plant-hummingbirds networks and they probably exerted selective pressure as a group (Janzen 1980; Cotton 2008), those networks have shown modularity in several instances (Maruyama et al. 2014; Zanata et al. 2017; Araujo et al. 2018; but see Rodríguez-Flores et al. 2019) indicating that interactions between extant plant and hummingbird species might have been a product of coupled evolution.

Despite the knowledge about the differences on the degree of specialization of different ecological groups of hummingbirds, little effort has been made to understand their relative role in the community structure (Maglianesi et al. 2014, 2015; Torres-Vanegas et al. 2019), especially when considering their evolutionary history with plants. Here we investigated the importance of each group of hummingbirds associated with their latitudinal and altitudinal distribution in shaping the community structure of the Brazilian Atlantic Rainforest using an evolutionary and ecological perspective. The geographical characteristics and the biological composition this biome make it an interesting spot to study community structure by tracking their coupled evolutionary history. Specifically, we intend to answer two questions: 1. How the cophylogenetic signal varies between communities pollinated mainly by hermits and nonhermits hummingbirds? We expect to find higher cophylogenetic signal between hermits hummingbirds and the plants they pollinate than nonhermits (Figure 1C) because the higher degree of specialization of hermits (Feinsinger and Colwell 1978; Cotton 2008) might be an indication of coupled evolution. 2. How the cophylogenetic signal in communities visited by these two groups of hummingbirds varies between latitudes and altitudes? We expect to find higher cophylogenetic signal in communities closed to the tropics and in lowlands because in those regions there is higher morphological matching and resource specialization (Sonne et al. 2020) and higher hummingbirds species, leading to partition of resources (Sazima et al. 1996; Buzato et al. 2000; Maglianesi et al. 2015). Furthermore, the distribution of the specialized hermits hummingbirds are centered in lowlands and lower latitudes (Stiles 1978; Feinsinger et al. 1979; Graham et al. 2009; Rodríguez-Flores et al. 2019).

MATERIALS AND METHODS

1. Study site

The Atlantic Rainforest originated, along with other Neotropical forest, 58-55 Ma. ago with higher expansion in early Eocene ca. 45 Ma, due warming and increasing moisture (Graham 2011). It originally occupied an area of 150 million ha. (Ribeiro et al. 2009) ranging from 0° to 30°S, comprising a wide variety of climatic conditions (Ledru et al. 2005). The historical formation of Atlantic Forest was influenced by global climatic changes during the Quaternary, when the dynamics of rainfall regime promoted consecutive expansion and retractions of the forest during the past 100.000 yr. (Ledru et al. 2005). Despite the hydrological and vegetational variability throughout the Quaternary, the diversity of species seems to have been intact in mountainous areas, which is considered interglacial microrefugia for the wildlife (Montade et al. 2014). The altitudinal range of Atlantic Forest vary from the sea level up to 2700 m above sea level (Joly et al. 2014).

In Brazilian Atlantic Rainforest, different patterns of precipitation define climatic boundaries between three areas with different phylogeographic patterns: the northern area (between 5°S and 15°S), with drier conditions and a moist cool semi-deciduous forest restricted to coastal zones, lowland galleries forest and mountaintops; a central area (between 15°S and 23°S) with rainy summers and dense evergreen forest and semi-deciduous forest in inland zones; and the southern area (between 23°S to 30°S), with permanent moisture or short winter dry season and prevalence of *Araucaria* forest mixed with evergreen forest (Ledru et al. 2016).

Nowadays, the remaining area of Brazilian Atlantic Rainforest correspond to only 11.4% to 16% of the original extension (Ribeiro et al. 2009), mainly due several types of unplanned human occupation (Joly et al. 2014). The Brazilian Biome have high endemism rates, for example of 30% in birds (Hasui et al. 2018), 73% in primates and 44% in plants (Mittermeier et al. 2004). Together, the intense fragmentation and the high endemism rates, places the Brazilian Atlantic Rainforest among the five hottest hotspot of biodiversity in the world (Mittermeier et al. 2004).

2. Study system

Hummingbirds splitted from swifts and treeswifts approximately 42 Ma. ago, in Eurasia and dispersed to South America about 22 Ma. (McGuire et al. 2014). In South America, the extant lineages originated in Early Miocene from a common ancestor followed by a high rate of diversification, possible due the orogeny of the Andes and the diffuse coevolution with the plants they pollinate (McGuire et al. 2014). The Trochilidae family was classically divided into two subfamilies, Trochilinae and Phaethornithinae (McGuire et al. 2007), but recent studies have shown polyphyly in Trochilinae clade and a new classification of nine principal clades has been proposed (Bleiweiss 1991; McGuire et al. 2007, 2009, 2014). Overall, Emeralds, Mountain Gems and Bees have higher net diversification rates in contrast with Hermits and Topazes (McGuire et al. 2014).

Due the variable morphology and metabolic rates (Feinsinger and Chaplin 1975; Suarez 1992), despite the taxonomic and phylogenetic classification, hummingbirds are divided into two ecological groups with morphological, physiological and behavioral differences: the hermits, represent mainly by hummingbirds from Hermit clades (former Phaethornithinae subfamily) and the nonhermits, represented by all other hummingbirds. In general, the nonhermits are considered less specialized because they present a wide range of bills lengths and usually holds and defends territories (Feinsinger and Colwell 1978; Bleiweiss 1998b; Cotton 2008; Rodríguez-Flores et al. 2019). On the other hand, the hermits are considered more specialized because they have evolved adaptations in bill to correspond to flower morphology, ensuring access to almost exclusive resources in flower with long and/or curved corollas (Feinsinger et al. 1979; Rodríguez-Flores et al. 2019). These hummingbirds usually presents trapiliner behavior, feeding from scattered flowers (Snow and Snow 1972; Feinsinger and Colwell 1978; Cotton 2008). Nevertheless, all hummingbird species are prone to behave as a trapiliner and/or territorialist, depending on the community context (Feinsinger and Colwell 1978).

The Brazilian Atlantic Rainforest has about 32 species of hummingbirds of which ten are endemic (Grantsau 1988; Hasui et al. 2018) and the floristic composition comprises several taxonomic groups, with some highly specialized in hummingbird pollination (e.g. Bromeliaeaceae, Gesneriaceae and Heliconiaceae , Buzato et al. 2000,

Iamara-Nogueira, Cap. 1). The principal clades of hummingbirds in Brazilian Atlantic Rainforest are Emerald with 44% of all species, Hermits with 25% and the remaining species are included in Mangoes, Coquettes, Bees, Brilliants, Mtn. Gems and Topazes (Iamara-Nogueira, Cap. 1).

3. Plant-hummingbird interaction data

The data on plant-hummingbird interaction was taken from the dataset from flower-vertebrate interaction of the Atlantic Rainforest (Iamara-Nogueira, Cap. 1). This dataset was built with data from 213 unpublished and published studies in articles, book chapters and dissertations and PhD thesis from 1977 to 2015. The database includes geographic information of directed observation of the interaction, e.g. focal observation of hummingbird species visiting flowering species. For the purpose of this study, we used information of presence or absence of the interaction.

4. Hermit and nonhermit pollination classification

To account the importance of each group of pollinator on the cophylogenetic signal between phylogenies, plants were divided into two categories: visited mainly by nonhermits (when number of nonhermits hummingbirds visiting the plant species were > 66%) representing 31% of all interactions and visited mainly by hermits (when number of hermits hummingbirds visiting the plants species were > 66%) representing 60% of all interactions. The remaining 9% plants were classified as mixed and left out of the analysis. In order to minimize the effect of higher number of nonhermits species, the number of hummingbird species of each group that visits a particular flower was divided by the total number of species in that group present in the database, that is, ten hermits and 30 nonhermits. This classification was also made considering the frequency of visits available in the datapaper, but comparison between the classification made with the number of species and the frequency of visits were not different ($t = 0.175$, $p = 0.861$). The number of species was used because there was more data available.

5. Latitudinal and altitudinal data

Considering the possibility of latitude and altitude promote changes in cophylogenetic signal between plant and hummingbird phylogenies, the latitudinal distribution of data was divided into eight ranges of 1° decimal and the altitudinal distribution in five ranges

of 500 m, including only communities with more than 10 plant species and more than 5 hummingbird species (Figure 1A). The selected communities cover the latitudinal range of 8°S to 26°S and the altitudinal range from 0 to 2500 m above sea level. The data comprises the three areas of phylogeographic patterns defined by climatic conditions (Ledru et al. 2016) and almost the total range of elevation in Atlantic Forest (Joly et al. 2014). Beta diversity (β_{SOR}), species turnover (β_{SIM}) and nestedness (β_{SNE}) among sites across latitudes and altitudes were computed with Sorensen index using the function *beta.multi* in betapart package (Baselga and Orme 2012) in R environment (R Core Team 2018).

6. Plants and birds' phylogenetic trees

In order to assess the importance of the history of interactions, it was used phylogenies of plants and hummingbirds. For plants, it was used an additive phylogenetic megatree with 356,305 species of seed plants, based on the Open Tree of Life project (Smith and Brown 2018). One caveat of this super-tree is the many polytomies due to absence of molecular data for several groups that were inserted based only on taxonomy, but previous work showed that the topology of trees does not interfere in the results of studies involving communities (Aizen et al. 2016; Li et al. 2019). Nevertheless, to account the possible effect of incomplete resolution on plant phylogeny on the results, we used the algorithm *PolytomyResolver* (Kuhn et al. 2011) that consist in a constant rate birth-death model that produces an input file to be applied on BEAST software (Suchard et al. 2018). This software randomly resolves the polytomies and adjusts branch lengths based on birth-death model. The BEAST software applies Markov Chain Monte Carlo (MCMC) that produces 10^4 alternative trees. To obtain the maximum clade fully resolved credibility tree we used BEAST output in TreeAnnotator with 25% of burning. The phylogenetic distance matrices of the original tree and the resolved credibility tree were compared using Mantel Correlation test. The correlation of its patristic distance with the fully resolved consensus tree were extremely high ($r = 0.99$, $p = 0$). For hummingbirds, it was used a fully resolved and well supported dated ultrametric tree based on 284 species of hummingbirds and six genes (four nuclear and two mitochondrial) in five loci (McGuire et al. 2014). After comparing and pruning matching species in the database and phylogenies, the three sets of data — the entire

Brazilian Atlantic Forest as well this Biome subdivided by latitude and altitude — for this study contains 327 native plant species, 31 native hummingbird species (26 nonhermits and five hermits) and 1102 unique associations.

7. Relative importance of history and ecology to the organization of hermits and nonhermits-flower interactions

In order to verify the relative importance of history and ecology of interactions in the organization of plant and hummingbird interaction, the congruency between birds and plants phylogeny we accessed using Procrustes Approach to Cophylogenies (PACo) (Balbuena et al. 2013) and Random Tanglegram Partitions (Random TaPas) (Balbuena et al. 2020). PACo is a global-fit method that uses Procrustes technique to display datasets in their optimal superimposition (Balbuena et al. 2013). This method is used to quantify the degree of congruency between the topology of two given trees and to identify the associations with higher contribution to the cophylogenetic signal (Balbuena et al. 2013). The advantages of this method is that it allows non pairwise interactions, can handle large-scale cophylogenetic analysis and, since it used distance or dissimilarity matrices, does not require fully resolved phylogenies (Balbuena et al. 2013).

Despite these advantages, PACo analysis do not produces a clearly interpretable statistic regarding the strength of the signal (Balbuena et al. 2020), making comparisons complicated to make. Then, Random TaPas applies to a given global-fit method a series of random partial tanglegrams of fixed size based on number of unique interactions and returns the frequency of distribution of the statistic of the global-fit method in a small percentile where the highest cophylogenetic congruency is expected (Balbuena et al. 2020). The shape of this distribution can be expressed as a normalized Gini coefficient (G^*) that is expected to be inversely proportional to the cophylogenetic signal (Figure 1B): when each association between interactors contributes equally to the global-fit, the cophylogenetic signal is at its maximum resulting in a $G^* = 0$ and when the associations contributes very unevenly to the congruency, the signal is very low and G^* would approach one (Balbuena et al. 2020). Normalized Gini values should be considered only when the PACo show significance. Since the plant phylogeny is an additive tree, the signal is considered strong when G^* values is below the threshold of 0.72, moderate

when it approaches the threshold and weak when it is above the threshold (see Balbuena et al. 2020 for details).

Another advantage of Random TaPas is that phylogenetic uncertainty can be incorporated in the analysis, which is an important step since phylogenies represent hypothesis of evolutionary history and may lead to wrong conclusions if not all clades are well supported. To this end, plants and hummingbirds well resolved probabilities trees were generated with the model *PolytomyResolver* (Kuhn et al. 2011)) applied in BEAST software (Suchard et al. 2018). From the generated trees, we draw 1.000 random plant trees and 1.000 random hummingbird trees and RandomTapas was applied for each pair of probability trees to obtain a range of residual distribution (i.e. G^* values) (Balbuena et al. 2020). The observed G^* values is then plotted against the range of simulated G^* values to access the confidence of the results.

The application of RandomTaPas to our system and data is not without some caveats. (Balbuena et al. 2020). It is important to bear in mind that temporal congruence between the two phylogenies is relevant to get higher confidence in the strength of the signal and to infer the processes underling the phylogenetic congruency (Balbuena et al. 2020), so the results must be interpreted carefully. Another important observation is that, as we are working with a diffuse system of interaction between plants and hummingbirds, unique interactions are rare (Janzen 1980; Cotton 2008) and often it was not possible generate partial tanglegrams of fixed size with 10% of the number of total associations in each network, which is the recommended percentage of unique association in the tanglegram to estimate cophylogenetic signal (Balbuena et al. 2020). In this paper, the fixed size of tanglegrams to run Random Tapas were determined as the higher number of unique interactions to generate the higher number (up to 1000) of partial tanglegrams.

Despite these drawbacks, we are assuming that, due the diffuse nature of hummingbird pollination interactions, the analysis implanted here still sheds light on the shared evolutionary history of plants and hummingbirds (Hutchinson et al. 2017a). The analyzes were made for all hummingbirds and the plants they pollinated within the dataset from Atlantic Rainforest (MW) as well for each hummingbird groups, the hermits and their plants (HW) and nonhermits and their plants (NW). We applied the same

analysis for the whole hummingbird web and hermits and nonhermits web in each eight latitudinal and five altitudinal ranges. PACo analysis were performed with package *paco* (Hutchinson et al. 2017b) using patristic distances as input and Random TaPas was implemented using the script provided by the authors (Balbuena et al. 2020) using the function *Gini_RSV* of package *GiniWegNeg* (Raffinetti and Aimar 2016) to calculate the normalized Gini Coefficient. All analyzes was performed in R environment (R Core Team 2018).

RESULTS

Interactions between hummingbirds and plants in the Brazilian Atlantic Rainforest (MW) showed an overall moderate cophylogenetic signal (Figure 2A). The cophylogenetic signal was present for both the interaction between hermits (HW) and the plants they pollinate and the interaction between nonhermits (NW) and their plants (Figure 2B, C) but it was stronger for hermits than nonhermits (Figure 2B, C). The number of plants visited by each group is given in Table 2. For hermits and their plants, the interactions contributing significantly to the signal were those related to the hummingbird *Ramphodon naevius* (Dumont, 1818) (Welch t-test: $t = 3.64$, $p = 0.00$, Figure 2). The Gini values obtained with hummingbirds and their plants and hermits and their plants were within the range of G^* s obtained with 1000 pair of probability trees (Figure S1). There was no enough variation in simulated G^* values to account for phylogenetic uncertainty in nonhermits web (Figure S1).

Across the latitudes, five out of eight communities presented cophylogenetic signal in the interaction between hummingbirds and plants. In general, the signal was weak, except for the lowest latitude where a moderate signal was present (Table 1, Figure 3A). The interaction between the hermit *Phaethornis ruber* (Linnaeus, 1758) and the non-hermit *Thalurania watertonii* (Bourcier, 1847) with Bromeliaceae species presented the smallest residuals at the lowest latitude (Table S1). Beta diversity and species turnover across latitudes were high for plants ($\beta_{SOR} = 0.88$, $\beta_{SIM} = 0.79$) and moderate for hummingbirds ($\beta_{SOR} = 0.67$, $\beta_{SIM} = 0.51$), while nestedness for plants ($\beta_{SNE} = 0.09$) and hummingbirds ($\beta_{SNE} = 0.16$) were low, indicating that communities are equally rich but different in species composition. The number of plants visited by each

group in each latitudinal range is given in Table 2. For the hermits hummingbirds and their plants, cophylogenetic signal was present in two communities – latitude -19 with a strong co-phylogenetic signal, and latitude -22 with a moderate co-phylogenetic signal (Table 1, Figure 3A). In these communities, the smallest residuals were given by the interaction with plants of Bromeliaceae, Heliconiaceae and Costaceae families (Table S2, S3). For the nonhermit web, there were no evidences for phylogenetic congruency, except for a moderate signal in the community at latitude -22 (Table 1, Figure 3A). At this latitude, the small residuals were associated with a wide variety of interactions (Table S4). In general, the observed G^* values of hummingbirds and plants, hermits and plants and nonhermits and plants were within the range of G^* s obtained with 1000 pair of probability trees, except for the hermits in some latitudes (Figure S2). In a few cases, the phylogenetic uncertainty could not be accessed (Figure S2).

Weak cophylogenetic signal for the plants and hummingbirds was found in lower elevations and there was a tendency to decrease the observed G^* values with altitude (Table 1, Figure 3B). Only few species of hermits hummingbirds found in higher elevations, making it impossible to run the analysis. In lower elevations there was a weak signal only in the range 500 to 1000 m asl for both hermits and nonhermits (Table 1, Figure 3B). Beta diversity across altitudes were high for plants ($\beta_{SOR} = 0.84$) and moderate for hummingbirds ($\beta_{SOR} = 0.65$) while turnover for were high for plants ($\beta_{SIM} = 0.67$) and low for hummingbirds ($\beta_{SIM} = 0.16$). In contrast, nestedness were low for plants ($\beta_{SNE} = 0.16$) and relatively high for hummingbirds ($\beta_{SNE} = 0.48$), indicating that communities are different in plant and hummingbird species composition and lowland communities have higher number of hummingbird species than highland communities (Table 2). The number of plants visited by each group in each community is given in Table 2. Almost all observed G^* values were within the range of G^* s obtained with 1000 pair of probability trees, except for all hummingbirds and nonhermits hummingbirds in mid elevations (Figure S3). In elevations from 1500 m to 2000 m asl it was not possible to access the phylogenetic uncertainty (Figure S3).

DISCUSSION

The degree of dependence between plants and their pollinators has been shown to influence the community structure in different spatial scales (Maglianesi et al. 2014, 2015; Torres-Vanegas et al. 2019). Plant-hummingbirds networks are often modular (Maruyama et al. 2014; Zanata et al. 2017; Araujo et al. 2018), which indicates a high degree of specialization probably due long term reciprocal selection and coevolution (Olesen et al. 2007). Here, we explored the relative importance of two groups of hummingbirds with different degree of ecological specialization associated with their latitudinal and altitudinal distribution and their phylogenetic congruency to comprehend their influence in community structure of the Brazilian Atlantic Rainforest. Despite the strong congruence observed for the associations between hummingbirds and plants in Atlantic Rainforest, the cophylogenetic signal was different between hermits and nonhermits webs. Hermits hummingbirds are the main responsible for the congruence observed in the whole web and the higher cophylogenetic signal in this group was expected, since these birds shows a higher degree of ecological specialization (Feinsinger and Colwell 1978; Bleiweiss 1998b; Maglianesi et al. 2014, 2015). This result points out that coevolutionary process may be responsible for the organization of hermit's interactions with plant. Highlighted are the interactions between Bromeliaceae species and hermits, because they appeared as a consistent compartment strongly contributing to the cophylogenetic signal. This is an indication that hermit and Bromeliaceae species were probably under reciprocal selection and influence each other evolutionary history. (Olesen et al. 2007). In contrast, nonhermits webs didn't show cophylogenetic signal or modules. This result is also expected, since nonhermits are considered more generalists due its high variation on bill length, allowing visitation in flowers with wide range of morphologies (Feinsinger and Colwell 1978; Bleiweiss 1998; Cotton 2008; Rodríguez-Flores et al. 2019). This is an indication that past evolutionary history has little effect on the extant interactions and the organization of nonhermits webs is mainly made by current ecological factors.

The strong congruence between hermits hummingbirds and plants is reflected on their morphological affinity and higher pollination efficiency (Torres-Vanegas et al. 2019). According to previous studies (Buzato et al. 2000), these results indicate that

hermits hummingbird are the main organizers of communities in Brazilian Atlantic Rainforest, especially for bromeliads. Bromeliaceae is a highly diverse family, found almost exclusively in Neotropics and are one of the most ecologically diverse of flowering plants (Givnish et al. 2011). In the Brazilian Atlantic Forest, Bromeliaceae represents almost 40% of hummingbirds pollinated species (Iamara-Nogueira, Cap. 1) and are the main source of food for hummingbirds which are, in turn, their main pollinator (Buzato et al. 2000). A time-calibrated phylogeny for Bromeliaceae was provided by Givnish *et al* (2011) which, despite not containing all the species contemplated in this study, has three subfamilies well represented in our database (Tillandsioideae, Pitcairnioideae and Bromelioideae). The comparison of this bromeliad tree with the calibrated hummingbird phylogeny provided by McGuire *et al* (2014) can shed some light on the evolutionary history of these two groups. The extant subfamilies of Bromeliaceae probably began to diverge about 19 Ma (Givnish et al. 2011) coinciding with the diversification of extant hummingbird species 22 Ma ago (McGuire et al. 2014). Avian pollination arose 2-3 times in Bromeliaceae, once in core tillandsioids ca 15.2 Ma, once in ancestral tillandsioids 14.2 Ma and in the ancestor of Pitcairnioideae-Puyoideae-Bromelioideae ca. 15.9-14.1 Ma (Givnish et al. 2014). All these events coincide in time with the origin of hermit's hummingbirds, ca. 15 Ma and also with the origin of the hermit hummingbird *R. naevius* (McGuire et al. 2014). However, despite the overlapping in time of divergence of some bromeliads and hummingbirds, ancestral state reconstruction of these two groups indicates that the place of origin is not always the same. This comparison reinforces our results about the importance of hummingbirds and plants interaction and, at the same time, calls attention to the joint evolution of these groups to be studied within the context of the Atlantic Forest. Among hummingbirds, the greater signal between Bromeliads and the hermit *Ramphodon naevius* also indicated a process of joint process of evolution, which leads to high specialized interaction. This hummingbird species is classified as a high reward trapliner and present aggressive behavior, dominating the resources at lowland communities (Sazima et al. 1995; Buzato et al. 2000). This species is found mainly in elevations below 500 m and in rare occasions they are found above this threshold, up to 900 m (Ridgely et al. 2016). The greatest contribution to the signal of this species of hummingbirds and bromeliads According to previous studies (Buzato

et al. 2000), our results shows that the hummingbird *species R. naevius* have great importance on the organization of lowlands communities in Atlantic Forest.

Contrasting with the most-basal Hermits which are less diverse and restricted to lowlands and with the exception of Topazes, nonhermits hummingbirds are more diverse (McGuire et al. 2014). The greater diversification of this group is associated with the occupation of new areas and the specialization on different niches which allowed the coexistence of several species (McGuire et al. 2009). Indeed, Mangoes, Emeralds and Bess are over dispersed and are found in a great variety of habitats (Bleiweiss 1998a; Graham et al. 2009). Migratory habits of these hummingbirds guarantees a predisposition for long distance movements and toleration for a wide range of environmental conditions (Bleiweiss 1998a). Since hermits distribution are more restricted than nonhermits, the composition of hummingbirds species in different communities might promote chances in resource use and competition among species (Feinsinger 1976). The lack of congruency the we observed in most of the communities in this study might be an indicative that nonhermits hummingbirds are strongly influencing community structure depending not on historical process but rather on local ecological features. Since these birds do not show the same morphological match with flowers observed for hermits (Feinsinger and Colwell 1978; Bleiweiss 1998b; Cotton 2008; Rodríguez-Flores et al. 2019), the reciprocal selection might have been prevented from occurring (Thompson 2005). Besides hummingbird composition, the spatial distribution of plants (Morales and Vázquez 2008), morphological match (Feinsinger 1976; Vizentin-Bugoni et al. 2014) and phenological overlap (Vizentin-Bugoni et al. 2014) were identified as the main factors predicting interactions because the variation in these characteristics creates highly specialized interactions (Linhart 1973; Stiles and Stiles 1975; Maglianesi et al. 2014, 2015). In Brazilian Atlantic Rainforest, flowers might have clumped or dispersed distribution that are not species-specific and can vary across communities (Feinsinger and Colwell 1978; Buzato et al. 2000). Because beta diversity and turnover of species were high among communities, there should be a variation in floral and birds' morphologies and phenology and in the pattern of distribution of plants at different sites. Taking together, composition of hummingbirds at different sites, the availability of foraging behaviors in communities and the availability of resources

(Feinsinger 1976; Feinsinger and Colwell 1978; Buzato et al. 2000; Morales and Vázquez 2008), might allow or force nonhermits hummingbirds to assume more specialized foraging behaviors that shapes community structure (Torres-Vanegas et al. 2019). Therefore, the classification of hermits hummingbirds as specialists and nonhermits as generalists should be placed in a continuum (Buzato et al. 1994; Johnson and Steiner 2000) because it depends not only on morphology but also on ecological and historical context of communities. As an important example that rises from this study, the nonhermit *Thalurania watertonii* highly contributed with the cophylogenetic signal in the community at the lowest latitude, indicating that this species also had a coupled evolutionary history with Bromeliaceae. This species is endemic of Northeast of Brazilian Atlantic Rainforest (Las-Casas and Azevedo-Júnior 2009) and behaves both as territorialists and as traplines (Siqueira Filho and Machado 2001).

Nonetheless, the results found for latitude and altitude should be interpreted carefully. Despite our study covered almost the entire latitudinal and altitudinal range of Brazilian Atlantic Rainforest and the differences in beta diversity are mainly due the turnover of species rather the loss of species across communities, our data is biased towards the coast of Southeast of Brazil and lowlands (Figure 1A, Table 2, Iamara-Nogueira, Cap. 1) and Bromeliaceae family (Iamara-Nogueira, Cap. 1). Therefore, it is important to note that the lack of cophylogenetic signal in some communities might be simply because not all possible interactions were observed. At the same time, the observed cophylogenetic signal for hermits' hummingbirds might been an artifact of the concentration of sampling in the main area of distribution of the hummingbird species *Ramphodon naevius*. In this sense, broader observations of interactions across Atlantic Forest and surveys on morphological, phenological and demographic data are essential to better understand how differences on the degree of specializations are related to the community structure. Furthermore, we used latitude and altitude as a proxy for environmental conditions that might be acting as a filter to pollinator range distribution and for the degree of specialization in communities. We treated latitude and elevation as independent factors, but it is very likely that the combination of these two variables generate very different climatic conditions from place to place, which can influence the degree of specialization at a finer scale. Therefore, the incorporation of environmental

data known to influence species distribution might help understand how interactions shapes community structure.

In this study we demonstrated that the relative importance of hermits and nonhermits for the structure of communities are related to different process. Hermits hummingbirds and their plants showed a high cophylogenetic signal, indicating that coupled evolutionary history is the main driver of these interactions. On the other hand, the lack of cophylogenetic signal for nonhermtis and their plants indicates that ecological process might be acting on these interactions. Moreover, the lack of cophylogenetic signal in communities in different latitudes and altitudes indicates that environmental and ecological particularities of each location might influence the feeding behavior of hummingbirds, changing the patterns of interactions and influencing the relative importance of each group of hummingbirds for the structure of communities. These results call attention to the classification of hermits and nonhermits as specialist or generalists because hummingbirds are able to behave in distinct manners depending on community's composition and visit flowers that otherwise would not be available. Furthermore, the survey of interactions spanning the whole Biome rather than local communities is essential to understand the dynamic of interactions and, to our knowledge, this is the first time that this large-scale research in Brazilian Atlantic Rainforest has been done.

REFERENCES

- Aizen, M. A., G. Gleiser, M. Sabatino, L. J. Gilarranz, J. Bascompte, and M. Verdú. 2016. The phylogenetic structure of plant-pollinator networks increases with habitat size and isolation. *Ecology Letters* 19:29–36.
- Araujo, A. C., A. M. M. González, B. Sandel, P. K. Maruyama, E. Fischer, J. Vizentin-Bugoni, F. P. de Araújo, A. G. Coelho, R. R. Faria, G. Kohler, F. M. G. Las-Casas, A. V. Lopes, A. O. Machado, C. G. Machado, I. C. Machado, J. A. McGuire, A. C. Moura, G. M. Oliveira, P. E. Oliveira, M. A. Rocca, L. da C. Rodrigues, M. Rodrigues, A. M. Rui, I. Sazima, M. Sazima, I. G. Varassin, Z. Wang, B. Dalsgaard, and J.-C. Svenning. 2018. Spatial distance and climate determine modularity in a cross-biomes plant–hummingbird interaction network in Brazil. *Journal of Biogeography* 45:1846–1858.
- Armbruster, W. S. 2017. The specialization continuum in pollination systems: diversity of concepts and implications for ecology, evolution and conservation. *Functional Ecology* 31:88–100.

- Balbuena, J. A., R. Míguez-Lozano, and I. Blasco-Costa. 2013. PACo: A Novel Procrustes Application to Cophylogenetic Analysis. *PLoS ONE* 8:e61048–e61048.
- Balbuena, J. A., Ó. A. Pérez-Escobar, C. Llopis-Belenguer, and I. Blasco-Costa. 2020. Random Tanglegram Partitions (Random TaPas): An Alexandrian Approach to the Cophylogenetic Gordian Knot. *Systematic Biology*, doi: 10.1093/sysbio/syaa033.
- Baselga, A., and C. D. L. Orme. 2012. betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 3:808–812.
- Betts, M. G., A. S. Hadley, and W. J. Kress. 2015. Pollinator recognition by a keystone tropical plant. *PNAS* 112:3433–3438. National Academy of Sciences.
- Bleiweiss, R. 1991. Ecological causes of clade diversity in hummingbirds: A neontological perspective on the generation of diversity. Pp. 354–380 in R. Ross and W. Allmon, eds. *Causes of evolution: A paleontological perspective*. Chicago University Press, Chicago.
- Bleiweiss, R. 1998a. Origin of hummingbird faunas. *Biological Journal of the Linnean Society* 65:77–97.
- Bleiweiss, R. 1998b. Tempo and Mode of Evolution. *Biological Journal of the Linnean Society* 65:63–76.
- Brooks, D. R. 1985. Historical Ecology: A New Approach to Studying the Evolution of Ecological Associations. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 72:660–660.
- Buzato, S., M. Sazima, and I. Sazima. 2000. Hummingbird-pollinated floras at three Atlantic Forest sites. *Biotropica* 32:824–841.
- Buzato, S., M. Sazima, I. Sazima, and I. Sazama. 1994. Pollination of three species of *Abutilon* (Malvaceae) intermediate between bat and hummingbird flower syndromes. *Flora* 189:327–334.
- Cotton, P. A. 2008. Coevolution in an Amazonian hummingbird-plant community. *Ibis* 140:639–646.
- Da Graça, R. J., T. M. C. Fabrin, L. S. Gasques, S. M. A. P. Prioli, J. A. Balbuena, A. J. Prioli, and R. M. Takemoto. 2018. Topological congruence between phylogenies of *Anacanthorus* spp. (Monogenea: Dactylogyridae) and their Characiformes (Actinopterygii) hosts: A case of host-parasite cospeciation. *PLoS ONE* 13:1–14.
- Dalsgaard, B., E. Magård, J. Fjeldså, A. M. M. González, C. Rahbek, J. M. Olesen, J. Ollerton, R. Alarcón, A. C. Araujo, P. A. Cotton, C. Lara, C. G. Machado, I. Sazima, M. Sazima, A. Timmermann, S. Watts, B. Sandel, W. J. Sutherland, and J. C. Svenning. 2011. Specialization in plant-hummingbird networks is associated with species richness, contemporary precipitation and quaternary climate-change velocity. *PLoS ONE* 6.
- Demastes, J. W., and M. S. Hafner. 1993. Cospeciation of Pocket Gophers (*Geomys*) and their Chewing Lice (*Geomydoecus*). *Journal of Mammalogy* 74:521–530.
- Feinsinger, P. 1976. Organization of a tropical guild of nectarivorous birds. *Ecological Monographs* 46:257–291.
- Feinsinger, P., and S. B. Chaplin. 1975. On the relationship between wing disc loading and foraging strategy in hummingbirds. *The American Naturalist* 109:217–224.

- Feinsinger, P., and R. K. Colwell. 1978. Community organization among neotropical nectar-feeding birds. *Amer. Zool.* 18:779–795.
- Feinsinger, P., R. K. Colwell, J. Terborgh, and S. B. Chaplin. 1979. Elevation and the morphology, flight energetics, and foraging ecology of tropical hummingbirds. *The American Naturalist* 113:481–497.
- Fonseca, L. C. N. da, A. R. Rech, P. J. Bergamo, V. Gonçalves-Esteves, and M. Sazima. 2016. Heterospecific pollen deposition among plants sharing hummingbird pollinators in the Brazilian Atlantic Forest. *Rodriguésia* 67:335–345.
- Giannini, T. C., R. Lira-Saade, R. Ayala, A. M. Saraiva, and I. Alves-dos-Santos. 2011. Ecological niche similarities of Peponapis bees and non-domesticated Cucurbita species. *Ecological Modelling* 222:2011–2018.
- Givnish, T. J., M. H. J. Barfuss, B. V. Ee, R. Riina, K. Schulte, R. Horres, P. A. Gonsiska, R. S. Jabaily, D. M. Crayn, J. A. C. Smith, K. Winter, G. K. Brown, T. M. Evans, B. K. Holst, H. Luther, W. Till, G. Zizka, P. E. Berry, and K. J. Sytsma. 2014. Adaptive radiation, correlated and contingent evolution, and net species diversification in Bromeliaceae. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 71:55–78.
- Givnish, T. J., M. H. J. Barfuss, B. V. Ee, R. Riina, K. Schulte, R. Horres, P. A. Gonsiska, R. S. Jabaily, D. M. Crayn, J. A. C. Smith, K. Winter, G. K. Brown, T. M. Evans, B. K. Holst, H. Luther, W. Till, G. Zizka, P. E. Berry, and K. J. Sytsma. 2011. Phylogeny, adaptive radiation, and historical biogeography in Bromeliaceae: Insights from an eight-locus plastid phylogeny. *American Journal of Botany* 98:872–895.
- Graham, A. 2011. The age and diversification of terrestrial new world ecosystems through cretaceous and Cenozoic time. *American Journal of Botany* 98:336–351.
- Graham, C. H., J. L. Parra, C. Rahbek, and J. A. McGuire. 2009. Phylogenetic structure in tropical hummingbird communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:19673–19678.
- Grantsau, R. 1988. *Os Beija-flores do Brasil*. 1st ed. Expressão e Cultura.
- Hasui, É., J. P. Metzger, R. G. Pimentel, L. F. Silveira, A. A. d. A. Bovo, A. C. Martensen, A. Uezu, A. L. Regolin, A. Bispo de Oliveira, C. A. F. R. Gatto, C. Duca, C. B. Andretti, C. Banks-Leite, D. Luz, D. Mariz, E. R. Alexandrino, F. M. de Barros, F. Martello, I. M. d. S. Pereira, J. N. da Silva, K. M. P. M. d. B. Ferraz, L. N. Naka, L. dos Anjos, M. A. Efe, M. A. Pizo, M. Pichorim, M. S. S. Gonçalves, P. H. C. Cordeiro, R. A. Dias, R. d. L. Muylaert, R. C. Rodrigues, T. V. V. da Costa, V. Cavarzere, V. R. Tonetti, W. R. Silva, C. N. Jenkins, M. Galetti, and M. C. Ribeiro. 2018. ATLANTIC BIRDS: a data set of bird species from the Brazilian Atlantic Forest. *Ecology* 99:497–497.
- Hutchinson, M. A. C. H., E. D. F. E. Cagua, D. A. B. S. Touffer, M. C. Hutchinson, E. F. Cagua, and D. B. Stouffer. 2017a. Cophylogenetic signal is detectable in pollination interactions across ecological scales. *Ecology* 98:2640–2652.
- Hutchinson, M. C., E. F. Cagua, J. A. Balbuena, D. B. Stouffer, and T. Poisot. 2017b. paco: implementing Procrustean Approach to Cophylogeny in R. *Methods in Ecology and Evolution* 8:932–940.

- Ings, T. C., J. M. Montoya, J. Bascompte, N. Blüthgen, L. Brown, C. F. Dormann, F. Edwards, D. Figueroa, U. Jacob, J. I. Jones, R. B. Lauridsen, M. E. Ledger, H. M. Lewis, J. M. Olesen, F. J. F. V. Veen, P. H. Warren, and G. Woodward. 2009. Ecological networks – beyond food webs. *Journal of Animal Ecology* 78:253–269.
- Janzen, D. H. 1980. When is it Coevolution? *Evolution* 34:611–611.
- Jelbert, S. A., T. A. Hurly, R. E. S. Marshall, and S. D. Healy. 2014. Wild, free-living hummingbirds can learn what happened, where and in which context. *Animal Behaviour* 89:185–189.
- Johnson, S. D., and K. E. Steiner. 2000. Generalization versus specialization in plant pollination systems. *Trends in Ecology & Evolution* 15:140–143.
- Joly, C. A., J. P. Metzger, and M. Tabarelli. 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist* 1–15.
- Kuhn, T. S., A. Mooers, and G. H. Thomas. 2011. A simple polytomy resolver for dated phylogenies. *Methods in Ecology and Evolution* 2:427–436.
- Las-Casas, F. M. G., and S. M. Azevedo-Júnior. 2009. Dimorfismo sexual de tamanho no beija-flor-de-costas-violetas *Thalurania watertonii* (Bourcier, 1847) (Aves: Trochilidae): implicações ecológicas. *Ornithologia* 3:83–89.
- Ledru, M.-P., V. Montade, G. Blanchard, and C. Hély. 2016. Long-term Spatial Changes in the Distribution of the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 48:159–169.
- Ledru, M.-P., D.-D. Rousseau, F. W. Cruz, C. Riccomini, I. Karmann, and L. Martin. 2005. Paleoclimate changes during the last 100,000 yr from a record in the Brazilian Atlantic rainforest region and interhemispheric comparison. *Quaternary Research* 64:444–450.
- Li, D., L. Trotta, H. E. Marx, J. M. Allen, M. Sun, D. E. Soltis, P. S. Soltis, R. P. Guralnick, and B. Baiser. 2019. For common community phylogenetic analyses, go ahead and use synthesis phylogenies. *Ecology* 0:1–15.
- Louthan, A. M., D. F. Doak, and A. L. Angert. 2015. Where and When do Species Interactions Set Range Limits? *Trends in Ecology & Evolution* 30:780–792.
- MacArthur, R. H. 1969. Patterns of communities in the tropics. *Biol J Linn Soc* 1:19–30. Oxford Academic.
- Maglianesi, M. A., N. Blüthgen, K. Böhning-gaese, and M. Schleuning. 2015. Functional structure and specialization in three tropical plant-hummingbird interaction networks across an elevational gradient in Costa Rica. *Ecography* 38:1119–1128.
- Maglianesi, M. A., N. Blüthgen, K. Böhning-Gaese, and M. Schleuning. 2014. Morphological traits determine specialization and resource use in plant–hummingbird networks in the neotropics. *Ecology* 95:3325–3334.
- Martén-Rodríguez, S., W. J. Kress, E. J. Temeles, and E. Meléndez-Ackerman. 2011. Plant-pollinator interactions and floral convergence in two species of *Heliconia* from the Caribbean Islands. *Oecologia* 167:1075–1083.
- Maruyama, P. K., J. Vizenin-Bugoni, G. M. Oliveira, P. E. Oliveira, and B. Dalsgaard. 2014. Morphological and Spatio-Temporal Mismatches Shape a Neotropical Savanna Plant-Hummingbird Network. *Biotropica* 46:740–747.

- McGuire, J. A., C. C. Witt, D. L. Altshuler, and J. V. Remsen. 2007. Phylogenetic systematics and biogeography of hummingbirds: Bayesian and maximum likelihood analyses of partitioned data and selection of an appropriate partitioning strategy. *Systematic Biology* 56:837–856.
- McGuire, J. A., C. C. Witt, J. V. Remsen, A. Corl, D. L. Rabosky, D. L. Altshuler, and R. Dudley. 2014. Molecular phylogenetics and the diversification of hummingbirds. *Current Biology* 24:910–916.
- McGuire, J. A., C. C. Witt, J. V. Remsen, R. Dudley, and D. L. Altshuler. 2009. A higher-level taxonomy for hummingbirds. *Journal of Ornithology* 150:155–165.
- Mittermeier, R. A., P. R. Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux, and G. A. B. da Fonseca. 2004. Hotspots revisited.
- Montade, V., M.-P. Ledru, J. Burte, E. S. P. R. Martins, C. F. Verola, I. R. da Costa, and F. H. M. e Silva. 2014. Stability of a Neotropical microrefugium during climatic instability. *Journal of Biogeography* 41:1215–1226.
- Morales, J. M., and D. P. Vázquez. 2008. The effect of space in plant–animal mutualistic networks: insights from a simulation study. *Oikos* 117:1362–1370.
- Morris, R. J., S. Gripenberg, O. T. Lewis, and T. Roslin. 2014. Antagonistic interaction networks are structured independently of latitude and host guild. *Ecology Letters* 17:340–349.
- Olesen, J. M., J. Bascompte, Y. L. Dupont, and P. Jordano. 2007. The modularity of pollination networks. *PNAS* 104:19891–19896. National Academy of Sciences.
- Ollerton, J., and L. Cranmer. 2002. Latitudinal trends in plant-pollinator interactions: Are tropical plants more specialised? *Oikos* 98:340–350.
- Pauw, A. 2019. A Bird’s-Eye View of Pollination: Biotic Interactions as Drivers of Adaptation and Community Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 50:477–502.
- Pellmyr, O., and J. N. Thompson. 1996. Sources of Variation in Pollinator Contribution within a Guild: The Effects of Plant and Pollinator Factors. *Oecologia* 107:595–604. Springer.
- Phillips, R. D., R. Peakall, T. van der Niet, and S. D. Johnson. 2020. Niche Perspectives on Plant–Pollinator Interactions. *Trends in Plant Science* 0. Elsevier.
- Pritchard, D. J., R. D. Scott, S. D. Healy, and A. T. Hurly. 2016. Wild rufous hummingbirds use local landmarks to return to rewarded locations. *Behavioural Processes* 122:59–66.
- R Core Team. 2018. R: a language and environment for statistical computing [online]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raffineti, E., and F. Aimar. 2016. Computing the Gini-based coefficients for weighted and negative attributes.
- Ribeiro, M. C., J. P. Metzger, A. C. Martensen, F. J. Ponzoni, M. M. Hirota, M. Cezar, J. Paul, A. Camargo, and F. Jorge. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142:1141–1153.
- Ridgely, R. S., J. A. Gwynne, G. Tudor, and M. Argel. 2016. *Wildlife Conservation Society Birds of Brazil: The Atlantic Forest of Southeast Brazil, including São Paulo and Rio de Janeiro*. Cornell University Press.

- Rodríguez-Flores, C. I., J. F. Ornelas, S. Wethington, and M. del Coro Arizmendi. 2019. Are hummingbirds generalists or specialists? Using network analysis to explore the mechanisms influencing their interaction with nectar resources.
- Sargent, R. D., and D. D. Ackerly. 2008. Plant–pollinator interactions and the assembly of plant communities. *Trends in Ecology & Evolution* 23:123–130.
- Sazima, I., S. Buzato, and M. Sazima. 1996. An assemblage of hummingbird-pollinated flowers in a montane forest in southeastern Brazil. *Botanica Acta* 109:149–160.
- Sazima, I., S. Buzato, M. Sazima, S. Buzato, and M. S. T. S. H. Ram-. 1995. The saw-billed hermit *Ramphodon naevius* and its flowers in southeastern Brazil. *Journal fur Ornithologie* 136:195–206.
- Siqueira Filho, J. A. de, and I. C. S. Machado. 2001. Biologia reprodutiva de *Canistrum aurantiacum* E. Morren (Bromeliaceae) em remanescente da Floresta Atlântica, Nordeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 15:427–443.
- Smith, S. A., and J. W. Brown. 2018. Constructing a broadly inclusive seed plant phylogeny. *American Journal of Botany* 105:302–314.
- Snow, B. K., and D. W. Snow. 1972. Feeding Niches of Hummingbirds in a Trinidad Valley. *Journal of Animal Ecology* 41:471–485. [Wiley, British Ecological Society].
- Sonne, J., J. Vizin-Bugoni, P. K. Maruyama, A. C. Araujo, E. Chávez-González, A. G. Coelho, P. A. Cotton, O. H. Marín-Gómez, C. Lara, L. R. Lasprilla, C. G. Machado, M. A. Maglianesi, T. S. Malucelli, A. M. M. González, G. M. Oliveira, P. E. Oliveira, R. Ortiz-Pulido, M. A. Rocca, L. C. Rodrigues, I. Sazima, B. I. Simmons, B. Tinoco, I. G. Varassin, M. F. Vasconcelos, B. O’Hara, M. Schleuning, C. Rahbek, M. Sazima, and B. Dalsgaard. 2020. Ecological mechanisms explaining interactions within plant–hummingbird networks: morphological matching increases towards lower latitudes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 287:20192873. Royal Society.
- Stebbins, G. L. 1970. Adaptive Radiation of Reproductive Characteristics in Angiosperms, I: Pollination Mechanisms. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1:307–326.
- Stiles, F. G. 1978. Temporal Organization of Flowering Among the Hummingbird Foodplants of a Tropical Wet Forest. *Biotropica* 10:194–210.
- Stiles, F. G., and G. Stiles. 1975. Ecology, flowering phenology, and hummingbird pollination of some Costa Rican *Heliconia* Species. *Ecology* 56:285–301.
- Strauss, S. Y., and R. E. Irwin. 2004. Ecological and evolutionary consequences of multispecies plant-animal interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35:435–466.
- Suarez, R. K. 1992. Hummingbird flight: Sustaining the highest mass-specific metabolic rates among vertebrates. *Experientia* 48:565–570.
- Suchard, M. A., P. Lemey, G. Baele, D. L. Ayres, A. J. Drummond, and A. Rambaut. 2018. Bayesian phylogenetic and phylodynamic data integration using BEAST 1.10. *Virus Evolution* 4:1–5.
- Temeles, E. J., Y. J. Rah, J. Andicoechea, K. L. Byanova, G. S. J. Giller, S. B. Stolk, and W. J. Kress. 2013. Pollinator-mediated selection in a specialized hummingbird-*Heliconia* system in the Eastern Caribbean. *Journal of Evolutionary Biology* 26:347–356.

- Thompson, J. N. 2005. *The Geographic Mosaic of Coevolution*. Edição: 1. University of Chicago Press, Chicago.
- Torres-Vanegas, F., A. S. Hadley, U. G. Kormann, F. A. Jones, M. G. Betts, and H. H. Wagner. 2019. The Landscape Genetic Signature of Pollination by Trapliners: Evidence From the Tropical Herb, *Heliconia tortuosa*. *Front. Genet.* 10. Frontiers.
- Vizentin-Bugoni, J., P. K. Maruyama, and M. M. Sazima. 2014. Processes entangling interactions in communities: Forbidden links are more important than abundance in a hummingbird-plant network. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281:20132397–20132397.
- Waser, N. M., L. Chittka, M. V. Price, N. M. Williams, and J. Ollerton. 1996. Generalization in Pollination Systems, and Why it Matters. *Ecology* 77:1043–1060.
- Wolowski, M., L. G. Carneiro, and L. Freitas. 2017. Influence of plant–pollinator interactions on the assembly of plant and hummingbird communities. *Journal of Ecology* 105:332–344.
- Zanata, T. B., B. Dalsgaard, F. C. Passos, P. A. Cotton, J. J. Roper, P. K. Maruyama, E. Fischer, M. Schleuning, A. M. M. González, J. Vizentin-Bugoni, D. C. Franklin, S. Abrahamczyk, R. Alárcon, A. C. Araujo, F. P. Araújo, S. M. de Azevedo-Junior, A. C. Baquero, K. Böhning-Gaese, D. W. Carstensen, H. Chupil, A. G. Coelho, R. R. Faria, D. Hořák, T. T. Ingversen, Š. Janeček, G. Kohler, C. Lara, F. M. G. Las-Casas, A. V. Lopes, A. O. Machado, C. G. Machado, I. C. Machado, M. A. Maglianesi, T. S. Malucelli, J. Mohd-Azlan, A. C. Moura, G. M. Oliveira, P. E. Oliveira, J. F. Ornelas, J. Riegert, L. C. Rodrigues, L. Rosero-Lasprilla, A. M. Rui, M. Sazima, B. Schmid, O. Sedláček, A. Timmermann, M. G. R. Vollstädt, Z. Wang, S. Watts, C. Rahbek, and I. G. Varassin. 2017. Global patterns of interaction specialization in bird–flower networks. *Journal of Biogeography* 44:1891–1910.

TABLES AND FIGURES

Table 1. Presence of cophylogenetic signal (PACo analysis, m^2_{xy} and p values) and its strength (RandomTAPAS analysis, G^* values) for METAWEB (MW), hermits web (HW) and nonhermits web (NW) in each latitudinal and altitudinal range in Brazilian Atlantic Rainforest. Cophylogenetic signal is considered strong only when G^* is higher than the 0.72 threshold. Only systems when the signal is present and strong are highlighted.

		MW			HW			NW		
		m^2_{xy}	p	G^*	m^2_{xy}	P	G^*	m^2_{xy}	p	G^*
Lat i tu de	-8	0.95	0.01	0.71	0.98	0.67	0.66	0.54	0.19	0.57
	-13	0.93	0.32	0.67	0.88	0.02	0.61	---	---	---
	-19	0.97	0.01	0.81	0.97	0.31	0.66	0.45	0.84	---
	-20	0.96	0.37	0.72	---	---	---	0.77	0.32	0.65
	-22	0.97	0.00	0.73	0.94	0.02	0.71	0.93	0.01	0.71
	-23	0.98	0.00	0.73	0.98	0.22	0.82	0.94	0.50	0.73
	-24	0.97	0.00	0.72	---	---	---	0.94	0.77	0.64
	-25	0.95	0.10	0.72	---	---	---	0.87	1.00	---
Alti tu de	0 – 500	0.98	0.00	0.75	0.98	0.25	0.73	0.92	0.40	0.72
	500 – 1000	0.97	0.00	0.74	0.90	0.00	0.73	0.86	0.03	0.73
	1000 – 1500	0.97	0.00	0.72	---	---	---	0.92	0.84	0.62
	1500 – 2000	0.97	0.12	0.70	---	---	---	0.89	0.40	0.64
	2000 – 2500	0.95	0.09	0.68	---	---	---	0.94	0.15	0.67

Table 2. Characteristic of each community pollinated by hummingbirds in Brazilian Atlantic Rainforest, after consider the intersect with species present in plant and bird phylogeny. We present the number of hermits hummingbirds and the number of plants that they visit and the number of nonhermit hummingbirds with the number of plants that they visit.

	Community	Hermits	Hermit plants	Nonhermits	Nonhermit plants
	MW	5	180	21	84
Latitude	-8	3	27	4	5
	-13	3	9	--	--
	-19	4	38	3	3
	-20	2	18	10	7
	-22	5	53	14	44
	-23	5	69	15	30
	-24	2	31	11	10
	-25	2	16	5	4
	Elevation	0 – 500	5	91	16
500 – 1000		5	105	18	31
1000 – 1500		1	42	9	11
1500 – 2000		1	11	5	13
2000 – 2500		--	--	5	13

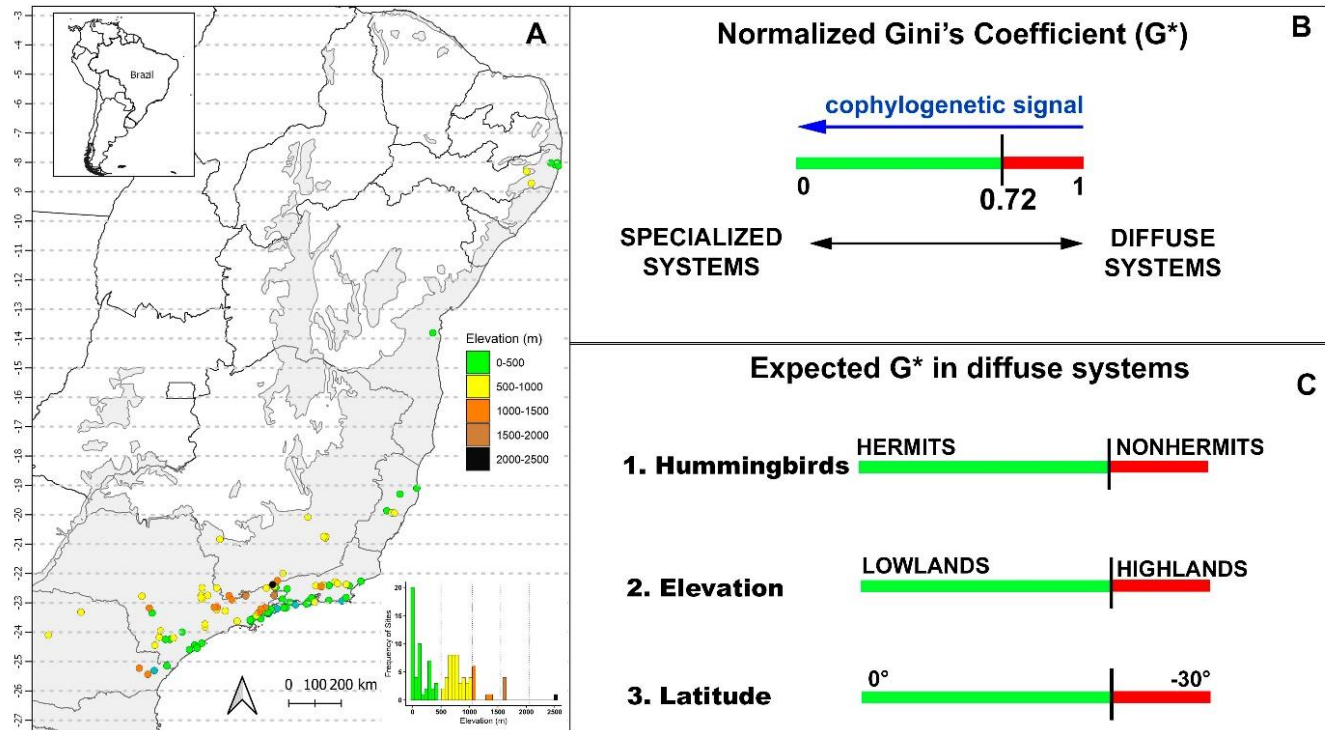


Figure 1. Latitudinal and altitudinal ranges of plant and hummingbirds' interactions used in this study to analyze the importance of altitude and elevation to cophylogenetic signal (**A**), conceptual diagram about normalized Gini's Coefficient on specialized and diffuse systems (**B**) and expectations on Gini's Coefficient regarding to group of hummingbirds, elevation and latitude (**C**). See text for details.

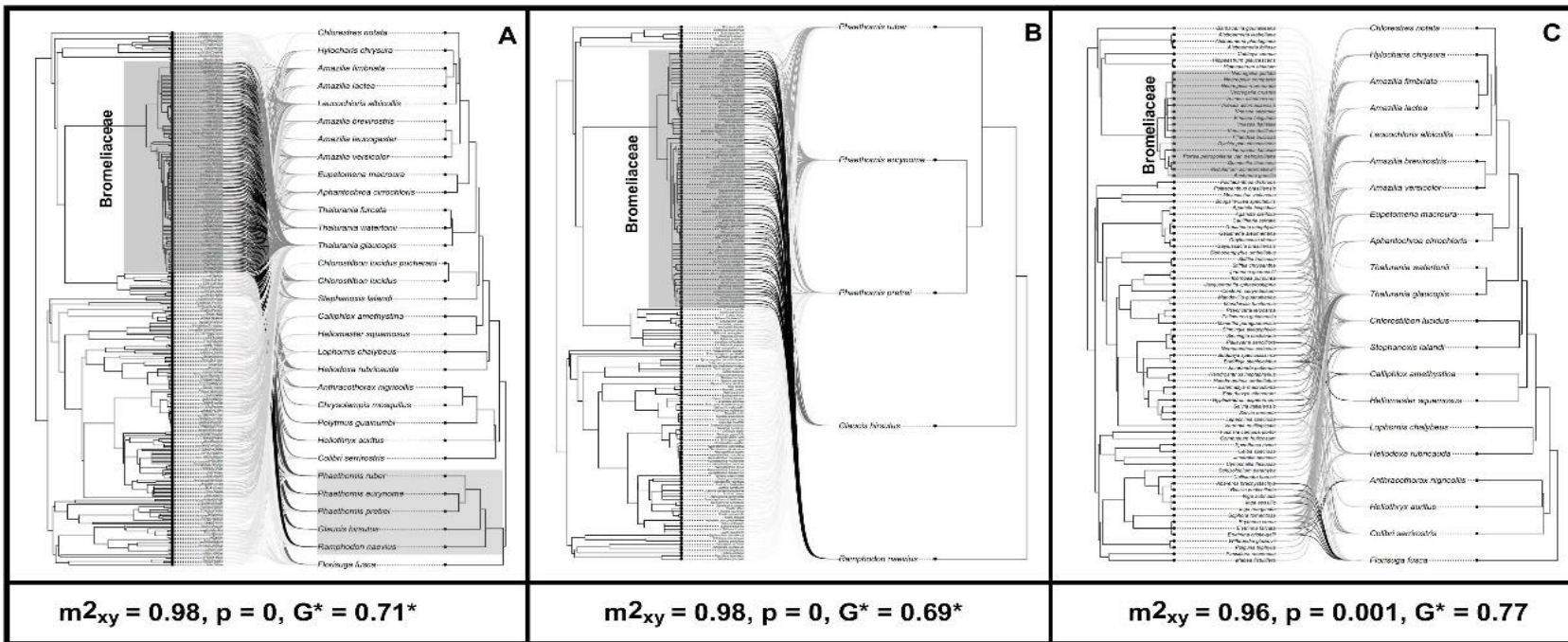


Figure 2. Tanglegram, PACo results and normalized Gini Coefficient (G^*) of the associations between all hummingbirds and their plants (A - MW) and between hermits (B - HW) and nonhermits (C - NW) and their plants. The gray scale intensity of the links shows the contribution of each association to the congruency, varying from low contribution (light gray) and high contribution (black). Highlight sections shows clades with more specialized associations. The asterisk in G^* values demonstrated values within the range of G^* s obtained with 1000 pair of probability trees.

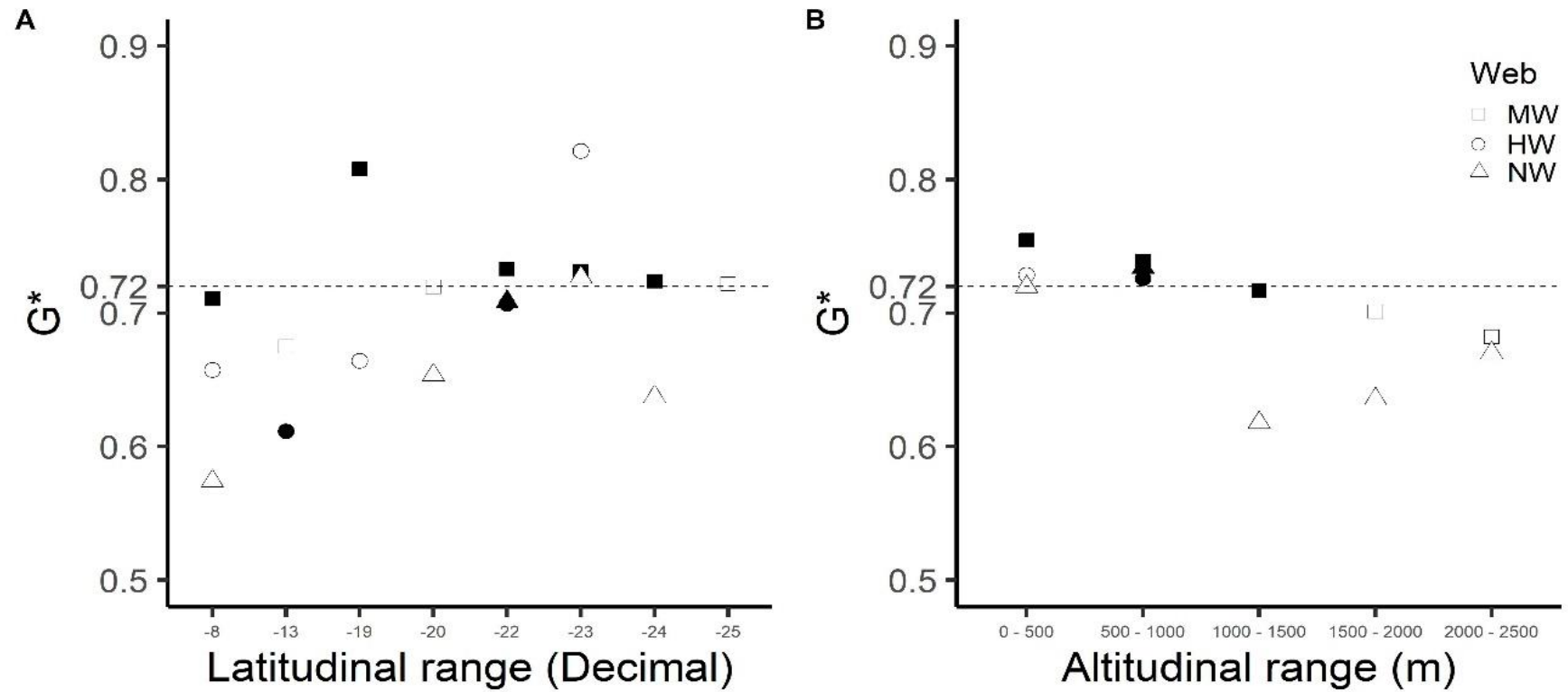


Figure 3. Normalized Gini Coefficient (G^*) plotted against latitude (A) and altitude (B) for the three webs. Closed symbols indicate significant congruency between plants and hummingbirds' phylogenies ($PACo\ p < 0.05$) and values below the threshold of 0.72 represents a strong signal.

SUPPLEMENT MATERIALS

TABLE S1. The fifteen interactions with the smallest residuals for the MW in the communities at the latitudinal range -8.

Interaction	procrustes residuals (10²)
<i>Canistrum_aurantiacum-Phaethornis_ruber</i>	6.64
<i>Lymania_smithii-Phaethornis_ruber</i>	6.64
<i>Aechmea_muricata-Phaethornis_ruber</i>	6.64
<i>Billbergia_morelii-Phaethornis_ruber</i>	6.64
<i>Aechmea_tomentosa-Phaethornis_ruber</i>	6.65
<i>Aechmea_leptantha-Phaethornis_ruber</i>	6.65
<i>Aechmea_fulgens-Phaethornis_ruber</i>	6.65
<i>Bromelia_karatas-Phaethornis_ruber</i>	6.68
<i>Tillandsia_bulbosa-Thalurania_watertonii</i>	6.68
<i>Tillandsia_gardneri_var._gardneri-Thalurania_watertonii</i>	6.69
<i>Tillandsia_tenuifolia-Thalurania_watertonii</i>	6.69
<i>Guzmania_lingulata-Thalurania_watertonii</i>	6.69
<i>Vriesea_procera-Thalurania_watertonii</i>	6.69
<i>Vriesea_flammea-Thalurania_watertonii</i>	6.69
<i>Pseudananas_sagenarius-Phaethornis_ruber</i>	6.70

TABLE S2. The fifteen interactions with the smallest residuals for the HW in the communities at the latitudinal range -19.

Interaction	procrustes residuals (10²)
<i>Aechmea_bromeliifolia-Glaucis_hirsutus</i>	3.18
<i>Aechmea_lamarchei-Glaucis_hirsutus</i>	3.18
<i>Nidularium_procerum-Glaucis_hirsutus</i>	3.31
<i>Billbergia_bradeana-Glaucis_hirsutus</i>	3.34
<i>Aechmea_saxicola-Glaucis_hirsutus</i>	3.47
<i>Aechmea_araneosa-Glaucis_hirsutus</i>	3.48
<i>Aechmea_perforata-Glaucis_hirsutus</i>	3.52
<i>Nidularium_espiritosantense-Ramphodon_naevius</i>	5.29
<i>Nidularium_cariacicaense-Ramphodon_naevius</i>	5.29
<i>Edmundoa_lindenii-Ramphodon_naevius</i>	5.29
<i>Nidularium_procerum-Ramphodon_naevius</i>	5.29
<i>Quesnelia_quesneliana-Ramphodon_naevius</i>	5.29
<i>Quesnelia_strobilispica-Ramphodon_naevius</i>	5.29
<i>Billbergia_euphemiae-Ramphodon_naevius</i>	5.36
<i>Billbergia_amoena-Ramphodon_naevius</i>	5.36

TABLE S3. The fifteen interactions with the smallest residuals for the HW in the communities at the latitudinal range -22.

Interaction	procrustes residuals (10²)
<i>Billbergia_amoena-Phaethornis_pretrei</i>	7.47
<i>Billbergia_pyramidalis-Phaethornis_pretrei</i>	7.47
<i>Billbergia_horrida-Phaethornis_pretrei</i>	7.47
<i>Quesnelia_augusto-coburgii-Phaethornis_pretrei</i>	7.48
<i>Aechmea_fasciata-Phaethornis_pretrei</i>	7.50
<i>Canna_indica-Ramphodon_naevius</i>	7.67
<i>Heliconia_farinosa-Glaucis_hirsutus</i>	7.75
<i>Vriesea_psittacina_var._psittacina-Phaethornis_pretrei</i>	7.76
<i>Heliconia_spathocircinata-Glaucis_hirsutus</i>	7.81
<i>Heliconia_angusta-Glaucis_hirsutus</i>	7.82
<i>Costus_spiralis-Ramphodon_naevius</i>	8.26
<i>Costus_spiralis-Glaucis_hirsutus</i>	8.36
<i>Heliconia_spathocircinata-Ramphodon_naevius</i>	8.38
<i>Heliconia_farinosa-Ramphodon_naevius</i>	8.38
<i>Heliconia_angusta-Ramphodon_naevius</i>	8.38

TABLE S4. The fifteen interactions with the smallest residuals for the NW in the communities at the latitudinal range -22.

Interaction	procrustes residuals (10²)
<i>Buddleja_stachyoides-Stephanoxis_lalandi</i>	7.84
<i>Buddleja_speciosissima-Stephanoxis_lalandi</i>	7.85
<i>Salvia_itatiaiensis-Stephanoxis_lalandi</i>	7.97
<i>Salvia_arenaria-Stephanoxis_lalandi</i>	7.97
<i>Gaultheria_sleumeriana-Chlorostilbon_lucidus</i>	7.99
<i>Gaultheria_eriophylla-Chlorostilbon_lucidus</i>	7.99
<i>Sinningia_cochlearis-Stephanoxis_lalandi</i>	8.02
<i>Sinningia_allagophylla-Stephanoxis_lalandi</i>	8.02
<i>Agarista_hispidula-Chlorostilbon_lucidus</i>	8.05
<i>Erythrina_falcata-Florisuga_fusca</i>	8.20
<i>Erythrina_verna-Florisuga_fusca</i>	8.20
<i>Erythrina_verna-Anthracothonax_nigricollis</i>	8.23
<i>Vriesea_penduliflora-Heliodoxa_rubricauda</i>	8.38
<i>Vriesea_itatiaiae-Heliodoxa_rubricauda</i>	8.38
<i>Vriesea_altomacaensis-Heliodoxa_rubricauda</i>	8.38

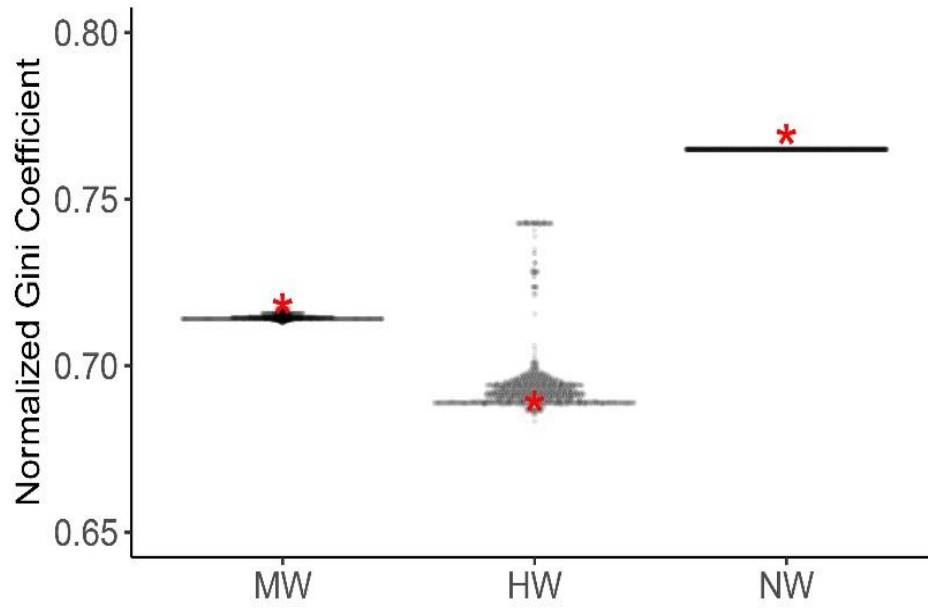


Figure S1. Observed normalized Gini coefficient (G^*) of each web (asterisk) against the distribution of normalized G^* for each 1000 pairs of posterior probability trees.

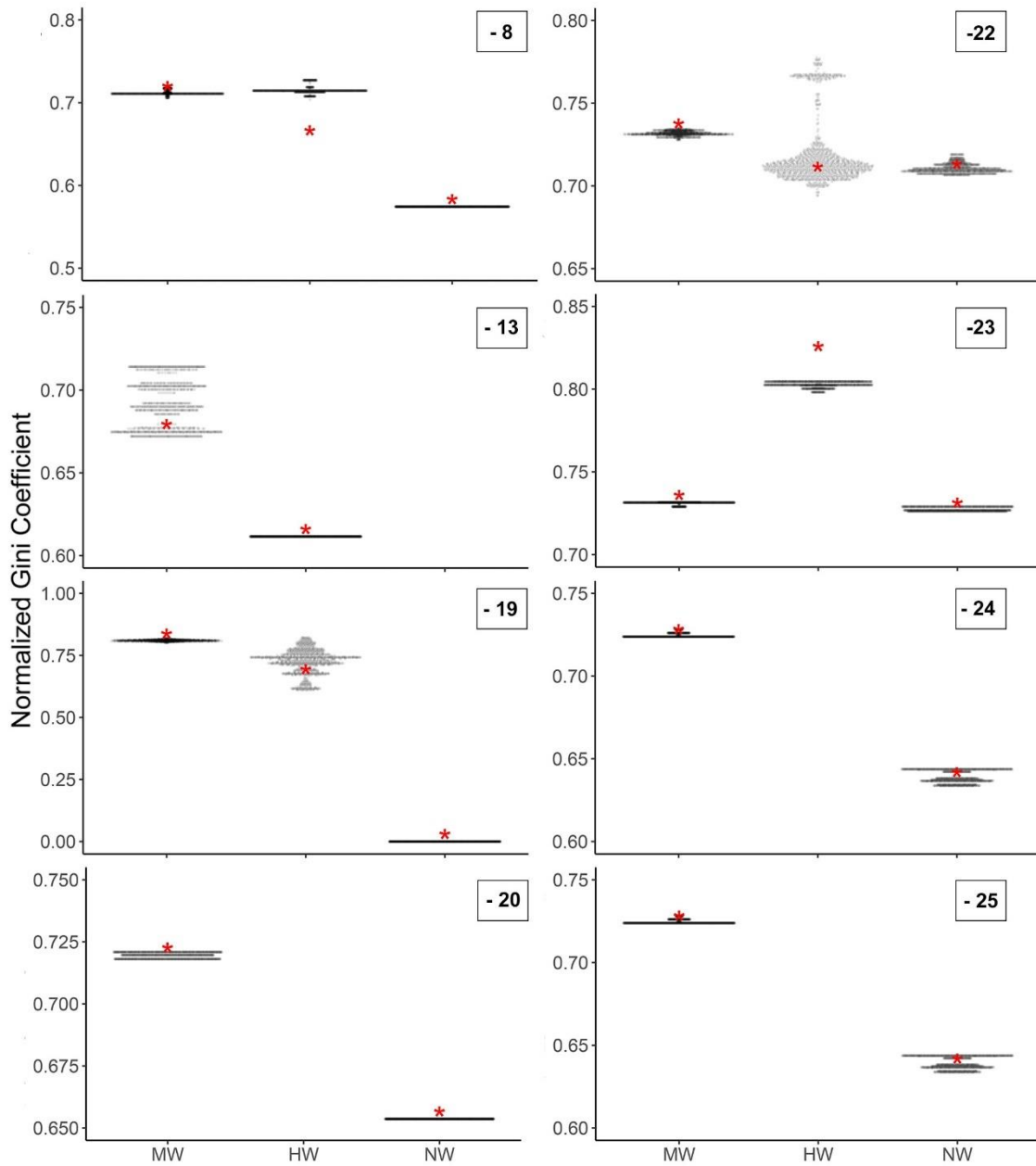


Figure S2. Observed normalized Gini coefficient (G^*) of each web (asterisk) in each latitude against the distribution of normalized G^* for each 1000 pairs of posterior probability trees.

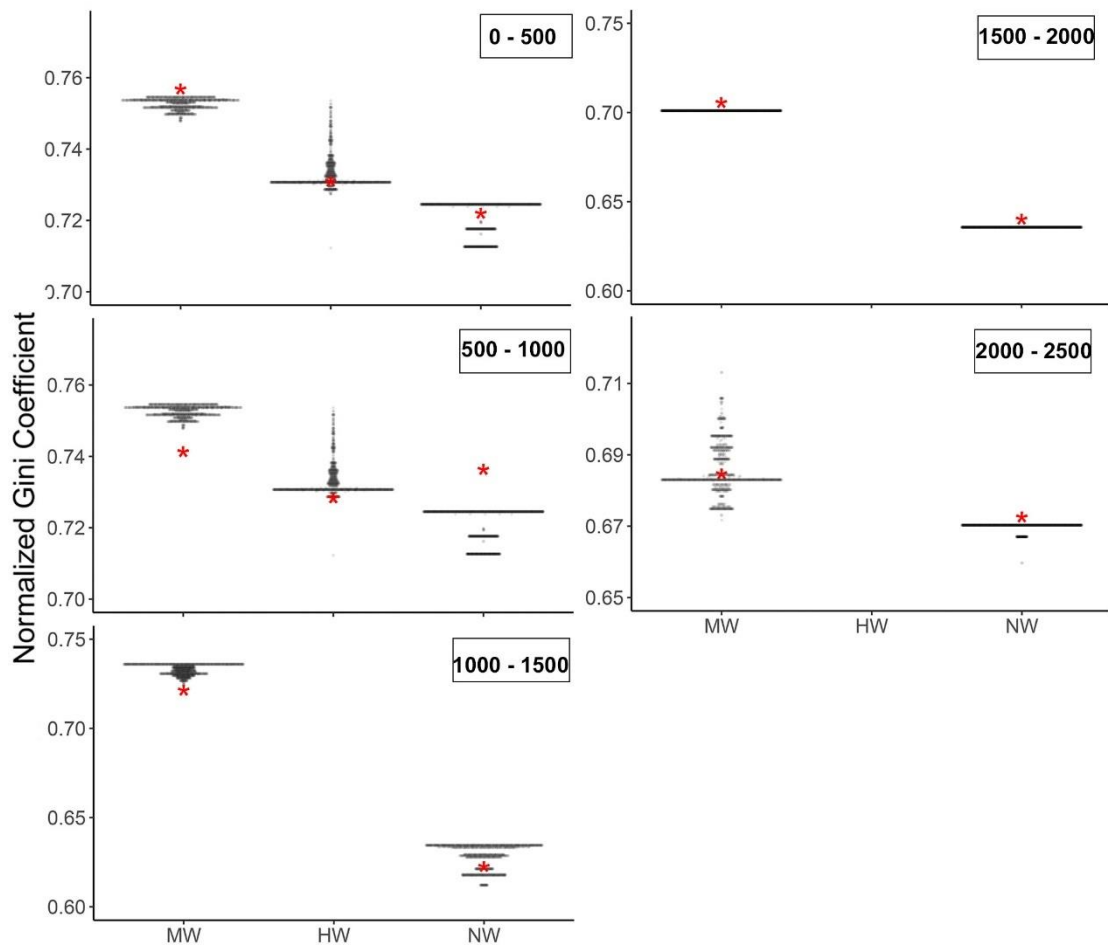


Figure S3. Observed normalized Gini coefficient (G^*) of each web (asterisk) in each elevation against the distribution of normalized G^* for each 1000 pairs of posterior probability trees.

DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÕES

Enfim, temos nossos resultados e nossas conclusões. Eu sei que fui injusta com você, pois exigi algo que não sabia se você tinha – o domínio da língua inglesa. Peço perdão, mas por ser um trabalho científico escrito para ser publicado em uma revista internacional, eu precisei escrever em inglês. Mas não se preocupe, nessa sessão você irá saber como termina esta parte de minha história com os vertebrados polinizadores na Mata Atlântica.

A primeira coisa que eu concluí com esse trabalho é que a Mata Atlântica é realmente um lugar incrível para se trabalhar e conduzir trabalhos sobre a Biodiversidade e não sou só eu quem acha isso. Conseguimos informações associadas a 213 trabalhos diferentes, realizado em 160 comunidades. A grande maioria desses estudos foi realizado na região sudeste do país, talvez por nesta região estar o maior incentivo financeiro à pesquisa oriunda da FAPESP. Esse primeiro resultado chama atenção para que venha maior incentivo financeiro para pesquisas em outras regiões do Brasil. Nesses trabalhos, foram observadas diversas famílias de plantas sendo que as bromélias foram as que apresentaram o maior número de interações com mais de 600, seguidas das leguminosas com cerca de 300 interações. Com relação aos animais, foram observados aves, morcegos, macacos, gambás e até uma espécie de lagarto. Os beija-flores foram o grupo dominante na Mata Atlântica com cerca de 1700 interações, seguido pelos morcegos com cerca de 90. Os beija-flores não eremitas tiveram um maior número de interações principalmente devido a dois gêneros, *Phaethornis* e *Ramphodon*. Dos não eremitas, os gêneros *Thalurania* e *Amazilia* apresentaram maior número de interações.

A maioria das plantas na Mata Atlântica ficam com flor de três a cinco meses e isso independe do grupo que as poliniza. Apesar disso, algumas flores de beija-flor e morcego ficam com flor o ano todo, provavelmente devido a importância desses dois grupos para a polinização na Mata Atlântica. Já o tamanho da flor muda conforme o grupo que as poliniza. O tamanho das corolas foi bastante variável em todos os grupos, sendo que flores polinizadas por beija-flores apresentam uma variação maior, indo de 8 até 55 mm. Pode parecer pouco, mas para os animais essa diferença no tamanho já é o suficiente para definir se eles irão ou não conseguir seu alimento. Essa variação nas

flores de beija-flores pode estar relacionada com as diferenças no tamanho dos bicos dos beija-flores, que pode variar de 10 até 37 mm. No geral, a produção de néctar – o principal recurso energético para os vertebrados – é baixa na Mata Atlântica. Todas essas características indicam que as interações entre plantas e vertebrados na Mata Atlântica não são especializadas, ou seja, todos os animais poderiam visitar todas as flores. De fato, as características florais de diferentes espécies de plantas são muito parecidas com relação ao seu formato e sua fisiologia, ou seja, seu “funcionamento”, independente do grupo que a visita. Apesar disso, a baixa produção de alimento pode favorecer a competição pelo néctar e, principalmente para os beija-flores, deve influenciar nos comportamentos alimentares desses animais, favorecendo rotas de captura. Com isso, apesar da morfologia e fisiologia das flores poder indicar generalização dos sistemas compostos por flores e vertebrados, o comportamento dos beija-flores pode estar favorecendo uma especialização, pelo menos neste grupo.

Apesar da Mata Atlântica ter variação nas condições climáticas como a temperatura mínima e a precipitação e ter variação altitudinal que potencialmente influencia na composição das comunidades, esses fatores não estão relacionados com características importantes das interações, como o período que as plantas estão com flores, a quantidade de néctar que elas produzem, no número de interações observados nas comunidades e a massa corpórea dos polinizadores. Isso reforça o fato de que as regiões amostradas não apresentam condições ambientais severas que impedem a ocorrência e interações de espécies. Assim, fatores bióticos – como por exemplo, a presença ou ausência de um polinizador – pode ser mais importante para estruturar as comunidades.

Como morcegos e beija-flores foram o grupo com maior número de interações registradas, é possível olhar essas interações com maior atenção e tentar tirar algumas conclusões. No geral, as comunidades apresentam uma variedade grande de espécies não aparentadas, ou seja, que pertencem a gêneros e famílias distintas. Além disso, o número de interações nos diferentes locais não está relacionado com essa semelhança entre as espécies. Na verdade, o número de interações tende a permanecer igual nas diferentes comunidades, independentemente se as espécies de plantas são ou não

aparentadas entre si. O mesmo acontece com a frequência relativa de visitas e essas tendências ocorrem para ambos os grupos.

De forma geral, na Mata Atlântica, a norma parece ser a especialização nas interações. A maioria das espécies de plantas recebe visita de uma única espécie de animal polinizador. Isso também ocorre quando olhamos somente para o grupo com mais interação, os beija-flores. Quando separamos os beija-flores naqueles dois grupos mencionados anteriormente – eremitas (*Phaethornithinae*) e não-eremitas (*Trochilinae*) – plantas visitadas por eremitas recebem visitas de menos espécies do que não-eremitas. Com relação aos polinizadores, a maioria deles também visitam poucas espécies de plantas: geralmente, cada polinizador visita três espécies de plantas. Com relação aos beija-flores, os eremitas buscam o alimento em uma diversidade de plantas maior que os não-eremitas. Isto faz sentido quando pensamos nas características dos beija-flores eremitas e também no seu comportamento de buscar alimento em rotas de visitas, o que os força a visitarem uma diversidade maior do que aquelas encontradas em manchas defendidas pelos não-eremitas.

Neste ponto da história, já sabemos que a polinização na Mata Atlântica é um sistema bastante especializado, principalmente quando se trata de beija-flores. Tudo indica também que eremitas são mais especialistas que os não eremitas. Nós também sabemos que essa especialização pode ser resultado de um longo processo de evolução conjunta entre as espécies. Agora é hora de saber aquelas minhas expectativas do que ia acontecer na história de fato aconteceu. Vocês lembram quais eram? Vamos relembra. Eu esperava maior sinal cofilogenéticos para os eremitas já que eles são mais especializados. Já para os não eremitas, eu esperava que o sinal fosse menor e que eles seriam importantes para a estrutura das comunidades quando os eremitas não estivessem presentes. No final das contas, eu estava certa... bom, mais ou menos certa. Realmente, os eremitas apresentam um sinal cofilogenético forte, enquanto que os não eremitas apresentam sinal, mas ele é fraco. Isso significa que processos evolutivos são os responsáveis por estruturar as interações entre eremitas e suas plantas enquanto que para os não-eremitas, processos evolutivos antigos não são tão importantes e o que influencia nessa interação são fatores ecológicos atuais.

Esse sinal cofilogenético forte para os eremitas é esperado e já foi indicado em outros estudos que esses beija-flores são de fato extremamente importantes para a estrutura das comunidades, especialmente aquelas mais próxima ao nível do mar e especialmente com um grupo de plantas: as bromélias. Bromélias são plantas extremamente importantes na Mata Atlântica e elas são a principal fonte de alimento para os beija-flores. A história evolutiva das bromélias e dos eremitas realmente parecem coincidir. O sinal filogenético fraco também é esperado para os não eremitas, uma vez que essas espécies são mais flexíveis em relação às suas interações. Eles também são encontrados em uma maior variedade de ambientes, o que fazem com que eles sejam mais oportunistas. Até esse ponto minhas previsões estavam corretas! Mas eu não acertei quando eu disse que os não-eremitas só teriam uma importância quando os eremitas não estivessem presentes, ou seja, em altitudes mais elevadas e latitudes mais ao sul do Brasil. Não observamos sinal cofilogenético maior em altitudes mais baixas e latitudes mais próximas à linha do Equador – locais com maior diversidade de eremitas. Isso nos indica que a ecologia tem um papel muito importante para a estrutura de comunidades, sobressaindo-se à importância evolutiva em alguns casos. Os fatores ecológicos que podem estar atuando na estrutura das comunidades são a composição dos beija flores, a forma com que eles adquirem o alimento e a disponibilidade de alimento em diferentes locais. Levando em consideração que todos esses fatores mudam muito entre uma comunidade e outra e que eremitas e não-eremitas podem se comportar de diferentes formas dependendo do contexto, as condições locais de cada comunidade pode forçar ou permitir que não-eremitas se comportem de forma mais especializada e, com isso, tenham grande impacto para a estrutura das comunidades.