

Estrutura das redes de interação beija-flor-planta nos diferentes domínios fitogeográficos brasileiros*

Wilma Gomes Ortigosa¹ & Andréa Cardoso Araujo²

¹ Estudante do curso de Ciências Biológicas na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (MS); wilmaortigosa@gmail.com

² Orientador. Laboratório de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Resumo: Os beija-flores desempenham importante papel na polinização de muitas espécies de plantas e são numérica e ecologicamente dominantes nas interações entre aves-planta no Novo Mundo, representando o maior grupo de vertebrados polinizadores na região Neotropical. Utilizando um banco de dados, avaliamos a estrutura das redes de interação beija-flor-planta definindo a especialização e a centralidade das espécies componentes, a similaridade na composição de espécies e os atributos morfológicos das plantas e beija-flores em cinco domínios vegetacionais brasileiros. A fim de avaliar a estrutura das redes de interação foram confeccionadas 35 matrizes ponderadas, representando interações registradas nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa. As redes foram avaliadas separadamente e calculados os seguintes índices que descrevem sua estrutura: conectância (C), especialização (H_2'), modularidade (M) e aninhamento (NODF2). No total foram registradas visitas de 41 espécies de beija-flores a 553 espécies de plantas. As métricas que descrevem a estrutura das redes de interação não diferiram significativamente entre domínios, apesar de haver grande variação na composição de espécies de plantas entre eles. A Conectância e a Modularidade foram baixas, ao passo que a Especialização (H_2') e o Aninhamento foram moderados em todos os domínios. As interações foram mais especializadas em redes da Mata Atlântica, dados os maiores valores de especialização específica (d') e maior comprimento da corola das flores neste domínio. Sugerimos estudos mais detalhados avaliando o ajuste morfológico entre beija-flores e flores entre os domínios, e como a especialização dessas espécies é afetada por esses atributos.

Introdução

Os beija-flores desempenham importante papel na polinização de muitas espécies de plantas e são numérica e ecologicamente dominantes nas interações entre aves-planta no Novo Mundo, representando o maior grupo de vertebrados polinizadores na região Neotropical (Bawa 1990). Essas aves obtêm a maior parte de suas necessidades energéticas do néctar, e são altamente especializadas nesta dieta. Durante a alimentação, os beija-flores podem polinizar as flores, estabelecendo, portanto, uma relação mutualística com muitas das plantas que visitam (Fonseca *et al.* 2015).

Essas aves apresentam grande flexibilidade no uso de recursos florais, visitando tanto flores ornitófilas quanto não ornitófilas, podendo inclusive atuar como polinizadores ocasionais dessas últimas (Mendonça & Anjos 2005, Maruyama *et al.* 2019). Visitam ainda espécies exóticas, que podem se tornar invasoras, tornando-se importante ameaça à biodiversidade e à integridade dos serviços ecossistêmicos (Maruyama *et al.* 2016). Estas espécies exóticas podem competir com espécies nativas pelos serviços dos polinizadores, diminuindo assim a aptidão das plantas nativas. Por outro lado, as plantas exóticas podem beneficiar as plantas nativas aumentando a disponibilidade geral de recursos florais numa dada área, promovendo assim maior abundância e atividade dos polinizadores nas plantas nativas (Maruyama *et al.* 2016). A dinâmica espacial e temporal na disponibilidade dos recursos alimentares pode ter efeitos diretos na atividade dos beija-flores e, conseqüentemente, influenciar a polinização das plantas (Fonseca *et al.* 2015). Portanto, estudos avaliando a estrutura das redes de interação e o papel desempenhado

*Manuscrito será submetido à *Ornithology Research* – instruções aos autores no final deste documento.

pelas diferentes espécies, incluindo as plantas exóticas, são importantes para compreender como essas interações polinizador-planta variam entre áreas, e quais mecanismos podem explicar essa variação.

As redes mutualísticas apresentam, em geral, estrutura aninhada e modular. Em redes aninhadas a maior parte das espécies interage com poucos parceiros, e poucas espécies são mais conectadas, de modo que as espécies especialistas interagem com subconjuntos das espécies com as quais as generalistas interagem, apresentando ligações fracas e assimétricas (Bascompte & Jordano 2007). Em redes modulares subconjuntos de espécies que compõem um módulo interagem mais entre si do que com espécies que compõem outros módulos (Araujo *et al.* 2018). Esses módulos podem representar ajustes morfológicos entre plantas e polinizadores (e.g., Danieli-Silva *et al.* 2012), agrupar espécies filogeneticamente mais próximas (e.g., Martín González *et al.* 2015), espécies que ocorrem num dado local nos mesmos períodos do ano (ajustes fenológicos, e.g., Tur *et al.* 2015) ou ainda agrupar espécies que ocorrem em locais geograficamente mais próximos (Araujo *et al.* 2018). Considerando abordagens em escalas amplas, é esperado que espécies que ocorrem em locais geograficamente próximos teriam mais chances de interagir umas com as outras e, portanto, ocorrer no mesmo módulo, resultando em módulos que representam a distribuição geográfica das espécies (Gilarranz & Bascompte 2012, Gilarranz *et al.* 2015, Araujo *et al.* 2018). De fato, em um estudo incluindo redes planta-beija-flor de diferentes domínios vegetacionais brasileiros, o padrão modular encontrado foi mais bem explicado por características espaciais e climáticas (Araujo *et al.* 2018).

As interações entre beija-flores e plantas têm sido relativamente bem estudadas em florestas e habitats de savana do Brasil (ver Rodrigues & Araujo 2011 e Araújo *et al.* 2011). Os habitats abertos montanhosos no sudeste do Brasil são reconhecidos como importantes centros de endemismo para a flora e fauna neotropicais (Giulietti *et al.* 1997, Safford 1999, Echternacht *et al.* 2011, Vasconcelos e Rodrigues 2010), e a Mata Atlântica é considerada o bioma mais rico em espécies vegetais polinizadas por beija-flores no Brasil (Grantsau 1989). Além disso, a diversidade de espécies vegetais neste ambiente é comparável à de outras florestas úmidas neotropicais, inclusive com as principais famílias em comum (Araujo 1996, Buzato *et al.* 2000). Estudos que enfocam plantas ornitófilas em nível de comunidade são concentrados principalmente em áreas de Cerrado do centro-oeste e de Mata Atlântica do sudeste do Brasil, mas pouco ainda se conhece sobre as interações entre beija-flores e flores no Pantanal e Pampas, e nenhum estudo sob este enfoque, incluindo observações ao longo de pelo menos um ano, foi encontrado para a região Amazônica. Para a Caatinga do Nordeste foram encontrados os estudos de Lopes *et al.* (2002), Machado & Lopes (2004) e Santos (2005).

O Brasil é um país de dimensões continentais (8.516.000 km²), e abrange diversos domínios de vegetação, incluindo pastagens abertas, savanas e florestas densas. Consequentemente, os padrões de interação entre os beija-flores e as plantas que utilizam como recurso devem variar ao longo desta ampla escala geográfica. Ainda que no estudo de Araujo *et al.* (2018) tenham sido avaliados os fatores que explicam o padrão modular da rede de interações incluindo interações registradas nos diferentes domínios fitogeográficos brasileiros, nada se conhece sobre a estrutura das redes que agrupam interações em cada domínio, e nem sobre como as métricas dessas redes e das espécies que as compõem variam entre essas áreas.

Dessa forma, os objetivos deste estudo são: a) Comparar a estrutura e a especialização das redes de interação beija-flor-planta entre domínios fitogeográficos (Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga) brasileiros, b) Avaliar as características e o papel desempenhado pelas espécies exóticas nas redes do Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampas, c) Determinar as famílias botânicas mais frequentemente utilizadas como recurso por beija-flores, d) Avaliar a similaridade na composição de espécies de beija-flores e plantas entre domínios, e) Avaliar como variam as características morfológicas de plantas (comprimento da corola) e de beija-flores (comprimento do bico) entre os domínios brasileiros.

As nossas hipóteses são:

I- Que os padrões de interação variem entre esses domínios, com redes da Mata Atlântica apresentando interações mais especializadas (i.e., maiores valores de especialização H_2' e modularidade), tendo em vista que neste domínio ocorre maior riqueza de espécies de beija-flores e poderia ser esperada maior partição de nicho. Além disso, dentre os domínios avaliados, a Mata Atlântica é o que apresenta menor sazonalidade climática, o que propicia maior especialização das interações beija-flor-planta (Dalsgaard *et al.* 2011);

II- Que as espécies exóticas exerçam papel periférico nas redes de todos os domínios, tendo em vista que devem ser menos representativas que as espécies nativas, uma vez que não apresentam história co-evolutiva em comum com os beija-flores;

III- Que as famílias de plantas mais frequentemente utilizadas por beija-flores difiram entre os domínios, devido às diferentes histórias biogeográficas entre áreas;

IV – Que redes de domínios mais próximos entre si, tenham maior similaridade na composição de espécies devido à maior facilidade de dispersão entre áreas;

V - Que na Mata Atlântica as flores apresentem corola mais longa e, conseqüentemente, que os beija-flores apresentem comprimento de bico mais longo, sugerindo interações mais especializadas neste domínio.

Métodos

Banco de dados

Para as análises deste estudo foi utilizado um banco de dados de interações entre beija-flores e plantas nas Américas recentemente publicado (Dalsgaard *et al.* 2021). Após a análise desse banco de dados, foram selecionadas as redes disponíveis para o Brasil ($n = 35$). Em seguida, essas redes foram separadas de acordo com o domínio fitogeográfico de origem - Mata Atlântica (18), Cerrado (10), Caatinga (5), Pantanal (1) e Pampa (1). Para identificar a origem das espécies de plantas nas redes e classificá-las como nativas ou exóticas foi utilizado o site Flora do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Para atualização da nomenclatura das espécies de plantas foi consultado o site <http://www.theplantlist.org/>.

Métricas de rede e de espécie

A fim de avaliar a estrutura das redes de interação foram confeccionadas 35 matrizes ponderadas, representantes dos cinco domínios, em que as espécies de plantas foram apresentadas nas linhas e as de beija-flor nas colunas, e o número de interações registrado entre um par de espécies preenchia as células.

As redes foram avaliadas separadamente e foram calculados os seguintes índices que descrevem sua estrutura: conectância (C), especialização (H_2'), modularidade (M) e aninhamento (NODF2). A conectância é dada pela razão entre o número observado de interações e o número máximo de interações potenciais (ligações/espécies²) (Jordano 1987, Dunne *et al.* 2002). Ela varia de 0-1, de modo que redes com maiores valores de conectância indicam maior generalização das interações. A especialização H_2' indica o quanto as espécies que compõem a rede restringem suas interações dentre aquelas que poderiam ser esperadas com base na disponibilidade de parceiros, sendo útil para comparações entre diferentes redes de interação. Este índice varia de 0-1, que indicam extrema generalização e especialização, respectivamente (Blüthgen *et al.* 2006). A modularidade (M) avalia a presença de subconjuntos de espécies que interagem mais entre si do que com espécies pertencentes a outros subconjuntos da rede. Seu valor também varia de 0-1, sendo que redes com valores mais altos, são mais modulares e, conseqüentemente, mais especializadas. Essa métrica foi calculada usando o algoritmo LPAwb+ (Beckett 2016) que maximiza a modularidade obtida através de replicações. Foram feitas 10 simulações e utilizada a configuração que apresentou o maior valor de Modularidade. Foi calculado ainda o aninhamento NODF2, que avalia a ocorrência de um padrão de interações em que as espécies com menos parceiros interagem com os parceiros das espécies com mais interações (Bascompte *et al.*, 2003). Este índice varia de 0-100 sendo que valores mais altos indicam redes mais aninhadas. Para testar a significância dessas métricas 100 redes aleatórias foram geradas utilizando o modelo nulo “vaznull” (Dormann *et al.* 2008).

Para avaliar o papel desempenhado pelas diferentes espécies de plantas e beija-flores que compõem a rede, foram calculadas duas métricas: a especialização (d') e a centralidade por intermediação ponderada (wbc). O índice d' descreve o quão especializadas são as interações em nível de espécie (Blüthgen *et al.* 2006) e mede o desvio da frequência observada do uso de recursos em

relação ao uso esperado, dado pela disponibilidade total de recursos na rede (Blüthgen *et al.* 2006, 2008). Ele varia entre 0 (extrema generalização) e 1 (extrema especialização). A centralidade de intermediação (*wbc*) mostra o quanto as espécies estão conectadas a outras espécies na rede por vias indiretas. Espécies com $wbc > 0$ são importantes pois conectam diferentes regiões da rede (Guimerà & Amaral 2005).

Todas essas métricas foram calculadas usando os pacotes *bipartite*, *ggplot2*, *iNEXT*, *vegan* do programa estatístico R Development Core Team (2021).

Análise de dados

A frequência das diferentes famílias botânicas nas redes foi comparada entre os domínios fitogeográficos de ocorrência utilizando Análise de Contingência. Para calcular a similaridade na composição de espécies de plantas e de beija-flores entre redes dos diferentes domínios utilizamos o índice de similaridade quantitativo de Bray-Curtis (BC) (1957), este índice varia entre 0 (dissimilaridade total) e 1 (similaridade total), e é fortemente influenciado pelas espécies dominantes, e pouco influenciado pelas espécies raras. O comprimento médio da corola das plantas e do bico dos beija-flores foi comparado entre domínios através da Análise de Variância (ANOVA).

Os valores médios de conectância, modularidade, aninhamento e especialização das redes foram comparados entre as redes de *mesmo* domínio e entre redes de domínios *diferentes* utilizando Análise de Variância (ANOVA), somente para a Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, domínios representados por pelo menos cinco redes. E as métricas em nível de espécie (*d*'e *wbc*) foram comparadas *entre* os cinco domínios, separadamente para beija-flores e plantas, também utilizando ANOVA. Para a comparação entre grupos (beija-flores x plantas) *dentro* de cada domínio, utilizamos o Teste T. Essas análises foram realizadas no Programa PAST.

Resultados

No total foram registradas visitas de 41 espécies de beija-flores a 553 espécies de plantas. Na Mata Atlântica foram 226 espécies de plantas distribuídas em 60 famílias; no Cerrado foram 171 espécies em 42 famílias; na Caatinga foram 130 espécies em 34 famílias; no Pantanal foram 14 espécies em seis famílias e, no Pampa, foram 12 espécies em 10 famílias. As famílias botânicas mais frequentes diferiram significativamente entre domínios (Cramer's $V = 0,45$, Contingency $C = 0,669$, $p < 0,0001$). Na Mata Atlântica a família mais representativa foi Bromeliaceae, ao passo que no Cerrado, na Caatinga e no Pantanal foi Leguminosae, e, no Pampa, foi Boraginaceae (Fig. 1). As espécies vegetais representadas em mais domínios (M. Atlântica, Caatinga e Cerrado) foram *Lantana camara* (Verbenaceae), *Manettia cordifolia* (Rubiaceae) e *Pyrostegia venusta* (Bignoniaceae). No total ocorreram 14 espécies exóticas nas redes estudadas, sendo 11 delas registradas na Mata Atlântica, e três no Pampa.

Quanto às características morfológicas, as flores da Mata Atlântica apresentaram, corola significativamente mais longas que a dos demais domínios ($p < 0,0001$, Kruskal-Wallis), com exceção do Pantanal, que não diferiu. Por outro lado, não houve diferença no comprimento do bico dos beija-flores ($p = 0,28$; ANOVA) entre domínios (Tabela 1).

A similaridade de Bray-Curtis na composição de espécies de plantas entre domínios foi muito baixa, sempre menor do que 10%. O domínio que teve alguma similaridade com os demais foi o Cerrado (BC = 0,09 - M. Atlântica, BC = 0,08 - Caatinga e BC = 0,07 - Pantanal), enquanto o que mais se diferenciou foi o Pampa, que não teve nenhuma espécie de planta em comum com os demais. Já a similaridade na composição de espécies de beija-flores foi mais alta entre Cerrado e Mata Atlântica (BC=0,62), e entre Caatinga e Cerrado (BC=0,56), e mais baixa entre Caatinga e Pampa (BC=0,1) e entre Mata Atlântica e Pantanal (BC=0,11). Pantanal foi o domínio que mais se diferenciou dos demais quanto à composição de espécies de beija-flores.

As métricas que descrevem a estrutura das redes de interação não diferiram significativamente entre domínios (Tabela 2). A Conectância e a Modularidade foram baixas, ao passo que a Especialização (H_2') e o Aninhamento foram moderados em todos os domínios (Tabela S.1). Quanto às métricas em nível de espécie, a centralidade por intermediação ponderada (wbc) e a especialização (d') foram mais altas para beija-flores do que para plantas *dentro* dos diferentes domínios, exceto para Pantanal e Pampa, onde a centralidade por intermediação não diferiu significativamente entre esses grupos (Tabela 3). A especialização dos beija-flores diferiu significativamente *entre* o Cerrado e a Mata Atlântica, sendo os beija-flores mais especializados registrados na Mata Atlântica. Também houve diferença quanto à especialização para as plantas, sendo mais alta para o Cerrado e Mata Atlântica, e mais baixa para Pampa, Caatinga e Pantanal. A centralidade (wbc) para plantas e beija-flores não diferiu entre os domínios (Fig. 2).

Foram registradas 14 espécies exóticas (2,53%) visitadas por beija-flores. Elas foram principalmente herbáceas (43%) ou arbóreas (29%), e apresentaram corola, em sua maioria do tipo tubular (50%) e de coloração vistosa (71%), características comuns às espécies polinizadas por aves. O comprimento médio da corola das flores visitadas foi de $31,16 \pm 22,73$ mm ($\bar{x} \pm sd$). As espécies de Myrtaceae foram as que apresentaram corola mais curta (Tab. 4). Quanto ao papel desempenhado pelas espécies exóticas na estrutura das redes, *Musa ornata* e *Musa balbisiana*, se destacaram por apresentarem altos valores de centralidade em três redes, todas da Mata Atlântica ($wbc = 0,327; 0,285; 0,555$).

Discussão

A Mata Atlântica foi o domínio que apresentou mais registros de interações entre plantas e beija-flores, o que pode ser explicado pelo fato de ter sido representando pelo maior número de redes ($n = 18$) no banco de dados. A família com mais espécies visitadas por beija-flores neste domínio foi Bromeliaceae, comumente associada à polinização por essas aves (Snow & Snow 1986, Araujo *et al.* 1994). Características florais das espécies dessa família tais como: brácteas florais com tonalidade vermelha, flores amarelas, tubulares, alta produção de néctar com concentração de açúcares mediana (ca. 20-25%) e antese diurna, contribuem para essa associação com os beija-flores (Sazima *et al.* 1996, Mendonça & Anjos 2003). Além disso, as bromélias oferecem recursos em momentos distintos daqueles de espécies arbóreas (Nadkarni & Matelson 1989), e muitas vezes florescem sequencialmente dentro de uma dada comunidade (Araujo *et al.* 1994), fornecendo recursos que permitem a ocorrência de beija-flores residentes ao longo do ano (Buzato *et al.* 2000, Lopes *et al.* 2002, Machado & Semir 2006), possibilitando assim maior diversificação de nichos entre eles. Além disso, as flores visitadas por beija-flores na Mata Atlântica apresentaram corola mais longa e maior especialização (d'). Ainda que não tenha sido detectada diferença significativa quanto ao comprimento do bico dos beija-flores entre domínios, eles também foram mais especializados ($>d'$) na Mata Atlântica. Esses resultados sugerem maior especialização das interações neste domínio, como era esperado e já sugerido por Araujo *et al.* (2018). Entretanto, a maior especialização das plantas registradas para o Cerrado e Mata Atlântica poderiam ainda refletir um viés amostral, tendo em vista que mais redes desses domínios (10 e 18, respectivamente) estavam representadas no banco de dados.

No Cerrado, Pantanal e Caatinga, Leguminosae foi a família mais comumente associada a polinização por beija-flores. Esse resultado pode refletir a maior frequência da família nesses domínios, indicando que os beija-flores estariam utilizando os recursos mais representativos dos ambientes. De fato, Leguminosae constitui quase um terço de toda a diversidade vegetal da Caatinga (Queiroz 2006). Os levantamentos florísticos realizados no Cerrado também apontam a família como uma das mais importantes em número de espécies e de indivíduos, reunindo 25% dos táxons para a flora vascular do Cerrado, incluindo tanto o estrato herbáceo-subarbusivo, quanto o arbustivo-arbóreo (Silva *et al.* 2010). Nos diferentes estudos florísticos já realizados em áreas do Pantanal brasileiro, Leguminosae apresenta elevado número de espécies (240 espécies), sendo reconhecida como uma das famílias de maior importância na composição de diversas formações vegetacionais deste domínio (Pott & Pott 1994, 1999, Schessl 1999, Lima Júnior 2007, Silva 2010). Além disso, dada a alta representatividade da família,

espécies de Leguminosae com flores podem ser encontradas durante o ano todo (Sarmiento *et al.* 1985), representando fonte de recursos confiável para animais de vida longa como os beija-flores. Para o Pampa, Leguminosae também foi importante (21% das espécies visitadas), mas Boraginaceae (com 29%) foi a família com mais espécies visitadas por beija-flores. Muitas espécies dessa família são efêmeras, com floração no período de inverno e primavera em regiões temperadas, desérticas e de altas altitudes, e são polinizadas geralmente por abelhas, vespas, borboletas e moscas (Weigend *et al.* 2016). Como somente uma rede de interações beija-flor-planta estava disponível para o Pampa, e dados sobre essas interações neste domínio ainda são escassos, não é possível afirmar que a alta frequência de uso de flores de Boraginaceae seja representativa de outras áreas de Pampa.

O fato de não ter sido registrada diferença quanto a estrutura das redes de Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga sugere que independente da mudança na identidade das espécies que compõe as redes, demonstrada pela baixa similaridade da flora entre domínios, sua estrutura se mantém, indicando que a arquitetura da rede seja uma característica conservada. A capacidade de explorar diferentes espécies vegetais é mediada principalmente pelas características morfológicas e comportamentais dos beija-flores (Feinsinger & Colwell 1978). Neste estudo, a guilda de beija-flores foi composta por espécies que não apresentaram diferenças entre domínios quanto ao comprimento médio do bico. Contudo, apresentaram especialização maior que as das plantas em todos os domínios. Isso pode ser explicado pelo fato de as redes serem normalmente compostas por maior número de espécies de plantas do que de beija-flores (Vizentin-Bugoni *et al.* 2015, Zanata *et al.* 2017). De fato, as espécies de beija-flores em geral se especializam em plantas generalistas e abundantes (Piacentini & Varassin 2007), prevalecendo assim, especialização assimétrica nas comunidades (Vázquez & Aizen 2004).

Os padrões detectados para a estrutura das redes podem ser afetados ainda pelo esforço amostral empregado. Os resultados apresentados por Vizentin-Bugoni *et al.* (2015) sugerem que as redes beija-flor planta tendem a apresentar conectância moderada, especialização intermediária e alta modularidade, mas que essas métricas dependem das dimensões da rede (i.e., riqueza de espécies), sendo pouco afetadas pela adição de links mais raros. De modo semelhante, Zanata *et al.* (2017) sugerem que com o aumento da intensidade amostral tende a ocorrer redução da conectância e da modularidade. Outro fator que pode afetar essas métricas é o método de amostragem, sendo que redes amostradas através de observações focais (fitocêntricas) tendem a ser mais especializadas que as zoocêntricas, i.e., aquelas amostradas através da análise da carga de pólen carregada pelos visitantes florais (Zanata *et al.* 2017). Além disso, a correspondência morfológica e a sobreposição temporal apareceram como os melhores preditores da frequência das interações (Vizentin-Bugoni *et al.* 2015), o que confirma que o período de floração e o fato de as espécies florescerem sequencialmente parecem ser os principais mecanismos que determinam as interações entre as plantas e os beija-flores. Nesse sentido, o comprimento de bico e da corola das flores podem contribuir para a redução da sobreposição de nicho, levando a o aumento da especialização no nível da comunidade (Abrahamczyk & Kessler 2010, Cotton 1998b, Maglianesi *et al.* 2015, Maruyama *et al.* 2014).

A similaridade na composição de espécies de plantas entre domínios foi baixa. Das 553 espécies de plantas registradas no estudo, somente 21 foram comuns à dois domínios, o que corresponde a 3,79% das espécies. E três destas (0,5%) ocorreram em três domínios, *Lantana camara* (Verbenaceae), *Manettia cordifolia* (Rubiaceae) e *Pyrostegia venusta* (Rubiaceae). Essas espécies representadas nas redes de mais domínios apresentam ampla distribuição geográfica, florescem por longos períodos e/ou apresentam características relacionadas à polinização por beija-flores. *Lantana camara*, possui inflorescências hemisféricas, brácteas caducas na frutificação e corola de coloração vermelha e/ou amarela (Cardoso *et al.* 2018). No Brasil é a espécie de *Lantana* com distribuição mais ampla, encontrada em todos os domínios fitogeográficos como planta ruderal (BFG 2015). Sua floração ocorre de março a outubro. *Manettia cordifolia* é uma planta trepadeira com os indivíduos dispostos em agrupamentos e florescendo abundantemente (*sensu* Gentry 1974) o ano inteiro. Apresenta características típicas da síndrome de ornitofilia, tais como antese diurna, corola tubular relativamente rígida, coloração vermelha, néctar abundante localizado distante dos órgãos sexuais e ausência de odor (Faegri & Van der Pijl 1979). *Pyrostegia venusta* também apresenta flores com características ornitófilas tais como odor ausente, corola vermelho-alaranjada brilhante, textura grossa, tubo estreito

com abertura larga, levemente glabro internamente. Floresce ao longo de todo o ano (com exceção de dezembro), com pico entre junho e outubro (Pool 2008).

Para os beija-flores houve maior similaridade na composição de espécies entre domínios, o que pode estar relacionado à sua maior mobilidade e distribuições geográficas mais amplas em relação às plantas, reduzindo assim diferenças entre áreas. Conforme esperado, a similaridade na composição de espécies de beija-flores foi mais alta entre Mata Atlântica e Cerrado que são geograficamente próximos, e difeririam mais entre Caatinga e Pampas, que são distantes. Entretanto, outro fator que poderia explicar a similaridade entre áreas é a sazonalidade climática. De fato, Cerrado e Caatinga, que apresentaram semelhança na composição de espécies de beija-flores, são ambientes marcadamente sazonais. Por outro lado, a Mata Atlântica e Pantanal diferiram bastante, o que pode também ser explicado pelas diferenças quanto à sazonalidade climática, que é baixa na Mata Atlântica e alta no Pantanal. Assim, além da distância geográfica entre áreas, fatores climáticos parecem explicar as diferenças na composição de espécies de beija-flores entre domínios (Araujo *et al.* 2018).

Das 41 espécies de beija-flores registradas, duas (4,87%), *Chlorostilbon lucidus* e *Eupetomena macroura* (Trochilinae), foram comuns à quatro dos cinco domínios estudados. Ambas as espécies apresentam amplitude de distribuição extremamente ampla: *Chlorostilbon lucidus* (7,080,000 km²) e *Eupetomena macroura* (8,380,000 km²) (BirdLife International 2021). Essas espécies são consideradas generalistas quanto ao uso de recursos florais (Mendonça & Anjos 2005), o que permite que explorem recursos disponíveis nos diferentes ambientes, incluindo espécies não adaptadas à polinização por aves. *Eupetomena macroura* apresenta acentuado comportamento territorialista, que favorece a ocorrência de encontros agonísticos, devido ao seu maior tamanho e peso corporal em relação às outras espécies (Temeles *et al.* 2004).

Apenas 14 das 553 espécies (2,53%) visitadas por beija-flores são exóticas, sendo a Mata Atlântica o domínio com maior representatividade desse grupo. Entretanto, conforme já mencionado, também foi o domínio com mais redes amostradas. Dentre essas espécies exóticas, *Musa balbisiana* e *Musa ornata* se destacaram por apresentarem alta centralidade por intermediação, indicando que exercem papel central na estrutura das redes em que ocorrem pois se conectam a muitas espécies da rede de maneira indireta. As espécies da família Musaceae tem flores vistosas e, por essa razão, são geralmente cultivadas como plantas ornamentais. *Musa balbisiana* e *M. ornata* tem corola longa (38,44 e 40,8mm respectivamente) com características ornitófilas (corola tubular de coloração vermelha/amarela), o que explica sua atratividade para beija-flores. Poderia ser esperado que plantas exóticas sem uma história evolutiva compartilhada com beija-flores não fossem prontamente incorporadas como espécies importantes nessas redes (Richardson *et al.* 2000, Aizen *et al.* 2008). No entanto, um dos principais fatores para as plantas exóticas se estabelecerem em novos ecossistemas é sua integração bem-sucedida em redes mutualísticas (Richardson *et al.* 2000, Traveset & Richardson 2014). De fato, Maruyama *et al.* (2016) demonstraram que as plantas exóticas estão fortemente integradas às redes planta-beija-flor, desempenhando papéis importantes na estrutura dessas redes, podendo ser utilizadas como recursos florais privados ou exclusivos por algumas espécies de beija-flores, conforme revelado por seu alto grau de especialização complementar (Bluthgen *et al.* 2006, Stouffer *et al.* 2014). Outras características dessas espécies exóticas não avaliadas aqui, tais como a disponibilidade temporal de flores em relação à das plantas nativas (i.e., fenologia), ou taxas de secreção de néctar mais altas, podem ser importantes para explicar a integração de espécies exóticas nessas redes (ver Chittka & Schurkens 2001, Godoy *et al.* 2009).

Desse modo, concluímos que as famílias Bromeliaceae e Leguminosae se destacaram com o maior número de espécies visitadas por beija-flores nos domínios fitogeográficos estudados. A estrutura das redes de interação beija-flor-planta não difere entre esses domínios, apesar de haver grande variação na composição de espécies de plantas entre eles. O maior comprimento médio da corola e os altos valores de especialização (d') obtidos para as plantas da Mata Atlântica sugerem que as interações nesse domínio são funcionalmente mais especializadas. Duas espécies exóticas de Musaceae apresentaram alta centralidade nas redes em que ocorreram, indicando que atuam como conectoras dessas redes. Novos estudos poderiam investigar se essas espécies exóticas atuam facilitando ou competindo com as

espécies de plantas nativas das comunidades onde ocorrem, de modo a compreender melhor como estão afetando as interações nestes locais. Sugerimos ainda estudos mais detalhados avaliando como varia o ajuste morfológico entre beija-flores e flores entre os domínios, e como a especialização dessas espécies é afetada por esses atributos. Informações desse tipo podem ajudar a desvendar os mecanismos por trás da especialização das interações beija-flor-planta.

Agradecimentos

Ao meu pai, pelo amor e paciência, por ter compreendido que meu tempo foi diferente dos demais, e por sempre ter feito o possível para que eu tivesse o necessário para continuar a graduação, por ter me acompanhado nas minhas decisões e respeitado minhas escolhas. A minha mãe, pelo amor e cuidado, que apesar de tudo também respeitou minhas escolhas e me apoiou. Ao meu irmão Willian, que mesmo morando em Santa Catarina, me manteve com os pés no chão quando cheguei a duvidar de mim mesma e da minha capacidade, que me fez enxergar além, e que é alguém por quem tenho muito amor e admiração. A minha Tia Maura, pelo carinho, atenção e apoio nos momentos difíceis. A minha sobrinha Ana Clara, que foi compreensiva com minha ausência e sempre foi o motivo da minha alegria. A minha sobrinha Rhayssa, pela companhia, pelos conselhos, pelo carinho, por ser uma pessoa forte e que me inspira. A minha cachorra Diana, pelo carinho, por me manter segura e amada, e por me acompanhar em todos os momentos em que estive escrevendo este trabalho. Aos meus amigos, pelas conversas, risadas, e também aos que estiveram ao meu lado durante toda a graduação e que agora são meus amigos para a vida toda. Especialmente a Dinah e a Natalia, pelos conselhos, compreensão, e pela ajuda principalmente nos momentos mais inoportunos. A Karine Munck que me supervisionou desde a minha primeira iniciação científica, e foi uma excelente companheira ao longo deste percurso. A minha prezada e querida orientadora Profa^o Andrea Cardoso de Araujo, por ter me aceito, pelo ensino, pela dedicação, pela colaboração e pela inspiração profissional. Ao CNPq pelo apoio financeiro para o desenvolvimento dos meus projetos de Iniciação Científica. A Universidade e todos os professores que através dos seus ensinamentos permitiram que eu pudesse hoje estar concluindo este trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma com essa caminhada.

Referências

- Abrahamczyk S & Kessler M (2010) Hummingbird diversity, food niche characters, and assemblage composition along a latitudinal precipitation gradient in the Bolivian lowlands. *Journal of Ornithology* 151: 615–625
- Araujo AC, Fischer EA & Sazima M (1994) Floração sequencial e polinização de três espécies de *Vriesea* (Bromeliaceae) na região da Juréia, sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 17:113-118
- Araujo AC, González AMM, Sandel B, Maruyama PK, Fischer E, Vizentin-Bugoni J, Araújo FP, Coelho AG, Faria RR, Kohler G, Las-Casas FMG, Lopes AV, Machado AO, Machado CG, Machado IC, McGuire JA, Moura AC, Oliveira GM, Oliveira PE, Rocca MA, Rodrigues LC, Rodrigues M, Rui AM, Sazima I, Sazima M, Varassin IG, Wang Z, Dalsgaard B & Svenning J-C (2018) Spatial distance and climate determine modularity in a cross-biomes plant–hummingbird interaction network in Brazil. *Journal of Biogeography* 45:1846–1858
- Araújo FP, Barbosa AAA & Oliveira PE (2011) Floral resources and hummingbirds on an island of flooded forest in Central Brazil. *Flora* (9) 206: 827-835. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2011.04.001>.
- Bascompte J & Jordano P (2007) Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 38:567–93

- Bascompte J, Jordano P, Melián CJ & Olsen JM (2003) The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100: 9383-9387
- Bawa KS (1990) Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* (1) 21: 399-422. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002151.1>.
- Beckett SJ (2016). Improved community detection in weighted bipartite networks. *Royal Society Open Science*, (1) 3:140536. doi:10.1098/rsos.140536.
- BFG - The Brazil Flora Group (2015) Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. *Rodriguésia* 66: 1085-1113
- BirdLife International (2021) IUCN Red List for birds. Downloaded from <http://www.birdlife.org>. Acessado em 10 de novembro de 2021.
- Blüthgen N, Fründ J, Vázquez DP e Menzel F (2008) What do interaction network metrics tell us about specialization and biological traits. *Ecology* (89) 12:3387–3399. doi:10.1890/07-2121.1.
- Blüthgen N, Menzel F & Blüthgen N (2006) Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology* 6:9
- Bray RJ e Curtis JT (1957) An ordination of the upland forests communities of southern Wisconsin. *Ecological Monography* (4) 27:325-349
- Buzato S, Sazima M & Sazima I (2000) Hummingbird-pollinated floras as three Atlantic forest sites. *Biotropica* (4b) 32: 824-841
- Cardoso PH, Cabral A, Valério VI dos R e Salimena FRG (2018) Verbenaceae na Serra Negra, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* (2) 69:777–786. doi:10.1590/2175-7860201869235.
- Chittka L & Schurkens S (2001) Successful invasion of a floral market. *Nature* (6838) 411: 653
- Cotton PA (1998b) The hummingbird community of a lowland Amazonian rainforest. *Ibis* (3) 140: 512-521
- Dalsgaard B, Magard E, Fjeldsa J, González AMM, Rahbek C, Olesen JM, Ollerton J, Alarcón R, Araujo AC, Cotton PA, Lara C, Machado CG, Sazima I, Sazima M, Timmermann A, Watts S, Sandel B, Sutherland WJ, Svenning JC (2011) Specialization in plant – hummingbird network is associated with species richness, contemporary precipitation and quaternary climate-change velocity. – *PLoS ONE* (10) 6:e25891. doi:10.1371/journal.pone.0025891
- Dalsgaard B, Maruyama PK, Sonne J, Hansen K, Zanata TB, Abrahamczyk S & Martin Gonzalez AM (2021) The influence of biogeographical and evolutionary histories on morphological trait-matching and resource specialization in mutualistic hummingbird–plant networks. *Functional Ecology* (5) 35: 1120-1133.
- Danieli-Silva A, Souza JMT, Donatti AJ, Campos RP, Vicente-Silva J, Freitas L & Varassin IG (2012) Do pollination syndromes cause modularity and predict interactions in a pollination network in tropical high-altitude grasslands? *Oikos* (1) 121: 35–43. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19089.x>.
- Dormann CF, Gruber B, Fruend J (2008). “Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks.” *R News*, 8(2), 8-11.
- Dunne AJ, Williams RJ & Martinez ND (2002) Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecol. Lett.* (4) 5: 558–567. doi:10.1046/j.1461-0248.2002.00354.x

- Echternacht L, Trovó M, Oliveira CT & Pirani, JR (2011) Areas of endemism in the Espinhaço Range in Minas Gerais, Brazil. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, (9) 206: 782–791. doi:10.1016/j.flora.2011.04.003
- Faegri K & Van der Pijl L (1979) *The Principles of Pollination Ecology*. 3rd ed. Pergamon Press, Oxford, pp 244
- Feinsinger P & Colwell RK (1978) Community Organization among Neotropical Nectar Feeding Birds. *American Zoologist* (4) 18: 779–795. doi:10.1093/icb/18.4.779
- Fonseca LCN, Vizentin-Bugoni J, Rech AR, Alves MAS (2015) Plant-hummingbird interactions and temporal nectar availability in a restinga from Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (4) 87: 2163-2175. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140349>.
- Gentry AH (1974) Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. *Biotropica* (1) 6:64-69. doi:10.2307/2989698
- Gilarranz LJ & Bascompte J (2012) Spatial network structure and metapopulation persistence. *Journal of Theoretical Biology* (2012) 297: 11– 16. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2011.11.027>.
- Gilarranz LJ, Hastings A, Bascompte J (2015) Inferring topology from dynamics in spatial networks. *Theoretical Ecology* (1) 8: 15–21. doi:10.1007/s12080-014-0231-y
- Giulietti AM, Pirani JR & Harley RM (1997) Espinhaço Range region, eastern Brazil. In: DAVIS, SD., HEYWOOD, VH., HERRERA-MACBRYDE, O., VILLA-LOBOS, J. and HAMILTON, AC. (Eds.). *Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation*. Centres of plant diversity: a guide and strategy for their conservation. Information Press, Oxford, 3: 397-404.
- Godoy O, Castro-Díez P, Valladares F & Costa-Tenorio M (2009) Different flowering phenology of alien invasive species in Spain: evidence for the use of an empty temporal niche? *Plant Biology* (6) 11: 803–811. doi:10.1111/j.1438-8677.2008.00185.x
- Gottsberger G & Silberbauer-Gottsberger I (2006) *Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Ecosystem. Origin, Structure, Dynamics and Plant Use*. Reta verlag, Ulm.
- Grantsau, R. (1989). Os beija-flores do Brasil. *Expressão e Cultura* 2: 23
- Guimerà R & Amaral LAN (2005) Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature* (7028) 433: 895–900. doi:10.1038/nature03288
- Jordano P (1987) Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. *The American Naturalist* (5) 129: 657–677. doi:10.1086/284665
- Lima Júnior GA, Soares TS, Nunes da Cunha C e Ferreira H (2007) Estudo florístico das espécies arbustivas e arbóreas nas fitofisionomias da RPPN Sesc Pantanal, Mato Grosso, Brasil. In VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Sociedade de Ecologia do Brasil, Caxambu. <http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/631.pdf>.
- Lopes AV, Vogel S & Machad IC (2002) Secretory Trichomes, a Substitutive Floral Nectar Source in *Lundia A. DC.* (Bignoniaceae), a Genus Lacking a Functional Disc. *Annals of Botany* (2) 90: 169–174. doi:10.1093/aob/mcf169
- Machado CG & Semir J (2006) Fenologia da floração e biologia floral de bromeliáceas ornitófilas de uma área da Mata Atlântica do Sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Botânica* (1) 29: 163-174.
- Machado IC (2004) Floral Traits and Pollination Systems in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. *Annals of Botany* (3) 94: 365–376. doi:10.1093/aob/mch152

- Maglianesi MA, Blüthgen N, Böhning-Gaese K & Schleuning M (2015) Functional structure and specialization in three tropical plant-hummingbird interaction networks across an elevational gradient in Costa Rica. *Ecography* (11) 38:1119–1128. doi:10.1111/ecog.01538.
- Martín González AM, Dalsgaard B, Nogués -Bravo D, Graham CH, Schleuning M, Maruyama PK, Martínez ND (2015) The macroecology of phylogenetically structured hummingbird-plant networks. *Global Ecology and Biogeography* (11) 24: 1212–1224. doi:10.1111/geb.12355.
- Maruyama PK, Bonizário C, Marcon AP, D'Angelo G, Silva MM, Silva Neto EN, Oliveira PE, Sazima I, Sazima M, Vizentin-Bugoni J, Anjos L., Rui AM, Marçal Junior O (2019) Plant-hummingbird interaction networks in urban areas: Generalization and the importance of trees with specialized flowers as a nectar resource for pollinator conservation. *Biological Conservation* 230: 187–194. doi:10.1016/j.biocon.2018.12.012.
- Maruyama PK, Vizentin-Bugoni J, Oliveira GM, Oliveira PE & Dalsgaard B (2014) Morphological and Spatio-Temporal Mismatches Shape a Neotropical Savanna Plant-Hummingbird Network. *Biotropica* (6) 46: 740–747. doi:10.1111/btp.12170.
- Maruyama PK, Vizentin-Bugoni J, Sonne J, Martín González AM, Schleuning M, Araujo AC., ... Dalsgaard B (2016) The integration of alien plants in mutualistic plant-hummingbird networks across the Americas: the importance of species traits and insularity. *Diversity and Distributions* (6) 22: 672–681. doi:10.1111/ddi.12434.
- Mendonça LB & Anjos L (2003) Bird flower interactions in Brazil: a review. *Ararajuba* (2) 11: 195–205.
- Mendonça LB & Anjos L (2005) Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* (1) 22: 51–59. doi:10.1590/s0101-81752005000100007.
- Nadkarni NM & Matelson TJ (1989) Bird Use of Epiphyte Resources in Neotropical Trees. *The Condor* (4) 91: 891. doi:10.2307/1368074.
- Piacentini VQ & Varassin IG (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(6): 663-671.
- Pool A (2008) A Review Of the Genus *Pyrostegia* (Bignoniaceae) 1, 2. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 95(3), 495-510.
- Pott A & Pott VJ (1994) Plantas do Pantanal. EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS), pp 320
- Pott A & Pott VJ (1999) Flora do Pantanal-Listagem atual de fanerógamas. In II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal. Manejo e Conservação, EMBRAPA Pantanal, Corumbá, pp 298-325.
- Queiroz LP (2006) The Brazilian Caatinga: Phytogeographical Patterns Inferred From Distribution Data of The Leguminosae. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P. & RATTER, J. A. (Eds.) Neotropical Caatingas and Dry forests: Plant diversity, Biogeography and Conservation. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Crc-Press.
- Richardson DM, Allsopp N, D'Antonio CM, Milton SJ & Rejmánek M (2000) Plant invasions—the role of mutualisms. *Biological Reviews* 75: 65–93.
- Rodrigues LC & Araujo A (2011) The hummingbird community and their floral resources in an urban forest remnant in Brazil. *Brazilian Journal of Biology* (3) 71: 611-622, PMID: 21881784.

- Safford HD (1999) Brazilian páramos i. an introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography* (4) 26: 693-712. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00313.x>.
- Sarmiento G, Goldstein G & Meinzeir F (1985) Adaptive strategies of woody species in neotropical savannas. *Biological Review* (3) 60: 315-356.
- Sazima M, Buzato S & Sazima M (1996) An assemblage of hummingbird-pollinated flowers in a montane forest in southeastern Brazil. *Bot. Acta* (2) 109: 149-160.
- Schessl M (1999) Floristic composition and structure of floodplain vegetation in northern Pantanal of Mato Grosso, Brasil. *Phyton* (2) 39: 303-336.
- Serviço Florestal Brasileiro Florestas do Brasil em resumo (2010) / Dados de 2005-2010 / Serviço Florestal Brasileiro – Brasília: SFB, 2010.
- Silva RR (2010) Leguminosae do município de Poconé, Pantanal de Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotropica* (4) 10:1-7.
- Silva RR, Prado AL, Fortuna-Perez AP, Segalla R (2010) Espécies herbáceas e lenhosas de Leguminosae numa área de Cerrado no Mato Grosso, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre*, (4) 8: 373-376.
- Snow DW & Snow K (1986) Feeding ecology of hummingbirds in Serrado Mar, Southeastern Brazil. *El Hornero* (04) 012: 286-296.
- Stouffer DB, Cirtwill AR & Bascompte J (2014) How exotic plants integrate into pollination networks. *Journal of Ecology* 102: 1442–1450.
- Temeles EJ, Linhart YB, Masonjones M & Masonjones HD (2002) The Role of Flower Width in Hummingbird Bill Length-Flower Length Relationships1. *Biotropica* (1) 34: 68–80. doi:10.1111/j.1744-7429.2002.tb00243.x.
- Traveset A & Richardson DM (2014) Mutualistic Interactions and Biological Invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* (1) 45: 89–113. doi:10.1146/annurev-ecolsys-120213-091857.
- Tur C, Olesen JM & Traveset A (2015) Increasing modularity when downscaling networks from species to individuals. *Oikos* (5) 124: 581– 592. <https://doi.org/10.1111/oik.01668>.
- Vasconcelos MF & Rodrigues M (2010) Patterns of geographic distribution and conservation of the open-habitat avifauna of southeastern Brazilian mountaintops (campos rupestres and campos de altitude). *Papéis Avulsos de Zoologia* (1) 50: 1–29. doi:10.1590/s0031-10492010000100001.
- Vázquez DP & Aizen MA (2004) Asymmetric specialization: a pervasive feature of plant–pollinator interactions. *Ecology* (5) 85: 1251–1257. doi:10.1890/03-3112.
- Vizentin-Bugoni J, Maruyama PK, Debastiani VJ, Duarte L da S, Dalsgaard B & Sazima M (2015) Influences of sampling effort on detected patterns and structuring processes of a Neotropical plant-hummingbird network. *Journal of Animal Ecology* (1) 85: 262–272. doi:10.1111/1365-2656.12459.
- Zanata TB, Dalsgaard B, Passos FC, Cotton PA, Roper JJ, Maruyama PK, ... Vizentin-Bugoni J (2017) Global patterns of interaction specialization in bird-flower networks. *Journal of Biogeography* (8) 44: 1891–1910. doi:10.1111/jbi.13045.
- Weigend M, Selvi F, Thomas DC & Hilger HH (2016) "Boraginaceae." In *Flowering Plants. Eudicots*, Springer 14: 41–102.

Legendas das Figuras e Tabelas

Figuras

Figura 1. Proporção de espécies visitadas por beija-flores de acordo com as famílias botânicas nos domínios Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa.

Figura 2. Comparação das métricas de espécie especialização (d') e centralidade por intermediação (wbc) de beija-flores e plantas *entre* os cinco domínios fitogeográficos avaliados. Para os pares de domínios que diferem significativamente entre si quanto a essas métricas são apresentados os valores de p obtidos a partir dos resultados da Análise de Variância.

Tabelas

Tabela 1. Comprimento médio da corola e do bico dos beija-flores registrados nas 35 redes analisadas de acordo com o domínio de ocorrência. Símbolos diferentes indicam diferenças significativas (n.s.= diferença não significativa).

Tabela 2. Comparação dos valores médios obtidos para as métricas de rede Conectância (C), Especialização ($H2'$), Aninhamento (NODF2) e Modularidade (M) para Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Valores de p obtidos a partir da Análise de Variância.

Tabela 3. Comparação das métricas de espécie especialização (d') e centralidade por intermediação (wbc) entre beija-flores e plantas *dentro* dos cinco domínios fitogeográficos avaliados.

Tabela 4. Espécies exóticas visitadas por beija-flores com respectivos hábitos, tipo de flor, coloração predominante e comprimento da corola, e domínios fitogeográficos de registro (MAT = Mata Atlântica, PAM = Pampa) registradas e suas características.

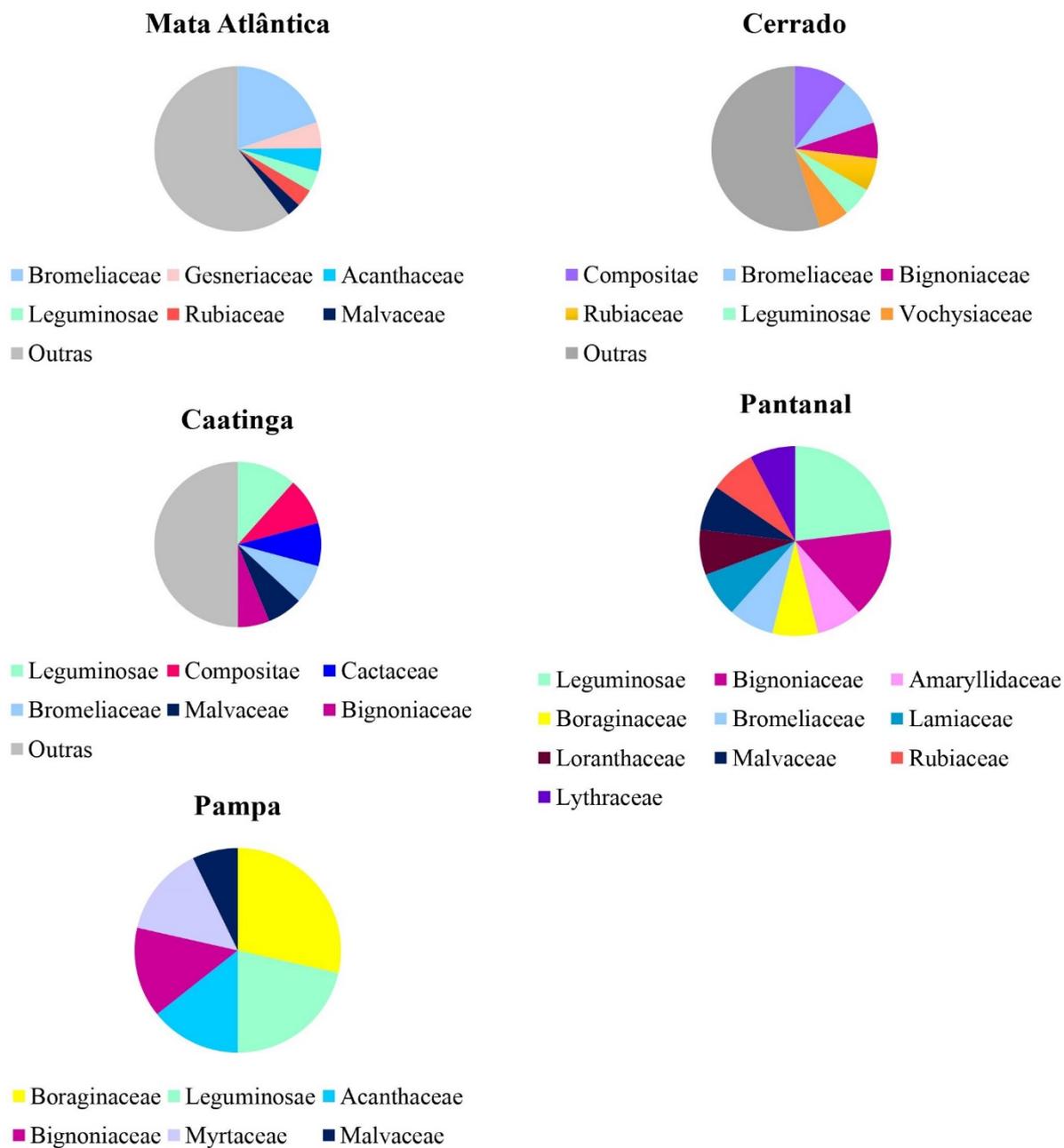


Figura 1. Proporção de espécies visitadas por beija-flores de acordo com as respectivas famílias botânicas nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampa.

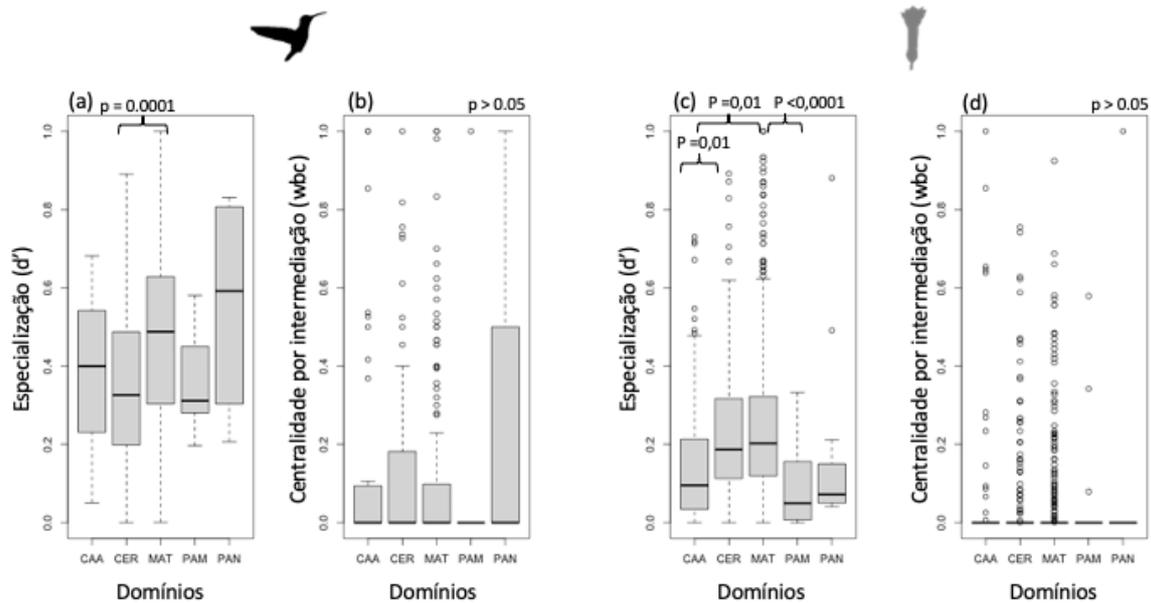


Figura 2: Comparação das métricas de espécie especialização (d') e centralidade por intermediação (wbc) de beija-flores e plantas *entre* os cinco domínios fitogeográficos avaliados. Para os pares de domínios que diferem significativamente entre si quanto a essas métricas são apresentados os valores de p obtidos a partir dos resultados da Análise de Variância.

Tabela 1. Comprimento médio da corola e do bico dos beija-flores registrados nas 35 redes analisadas de acordo com o domínio de ocorrência. Símbolos diferentes indicam diferenças significativas (n.s.= diferença não significativa).

	Mata Atlântica	Cerrado	Caatinga	Pampa	Pantanal
Comprimento corola flores ($\bar{x} \pm sd$ - mm)	29,2±14,52 (n=198)*	21,13±15,01 (n=133)†	23,24±18,77 (n=83)† ^Δ	13,25±9,81 (n=14) ^Δ	26,47±12,72 (n=12)* †
Comprimento bico beija-flores ($\bar{x} \pm sd$ - mm)	22,45±14,52 ^{n.s.}	20,96±15,01 ^{n.s.}	21,03±18,77 ^{n.s.}	20,09±9,81 ^{n.s.}	25,7±12,72 _{n.s.}

Tabela 2. Comparação dos valores médios obtidos para as métricas de rede Conectância (C), Especialização (H_2'), Aninhamento (NODF2) e Modularidade (M) para Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Valores de p obtidos a partir da Análise de Variância.

	Caatinga ($\bar{x} \pm sd$)	Cerrado ($\bar{x} \pm sd$)	Mata Atlântica ($\bar{x} \pm sd$)	p
Conectância(C)	0,32±0,05	0,31±0,06	0,31±0,12	0,97
Especialização (H_2')	0,42±0,18	0,39±0,12	0,49±0,18	0,28
Aninhamento (NODF2)	59,82±5,16	51,86±14,70	44,33±15,81	0,09
Modularidade (M)	0,28±0,15	0,32±0,12	0,38±0,14	0,31

Tabela 3. Comparação das métricas de espécie especialização (d') e centralidade por intermediação (wbc) entre beija-flores e plantas *dentro* dos cinco domínios fitogeográficos avaliados.

	Mata Atlântica	Cerrado	Caatinga	Pampa	Pantanal
Especialização (d')					
Beija-flores	0,49±0,22*	0,36±0,21*	0,38±0,179*	0,36±0,14 ^Δ	0,55±0,30 [°]
Plantas	0,25±0,20*	0,22±0,17*	0,157±0,3*	0,10±0,12 ^Δ	0,17±0,24 [°]
Centralidade por intermediação (wbc)					
Beija-flores	0,12±0,24*	0,11±0,22 ^Δ	0,154±0,30†	0,25±0,38 ^{n.s.}	0,25±0,5 ^{n.s.}
Plantas	0,03±0,11*	0,04±0,12 ^Δ	0,038±0,15†	0,08±0,16 ^{n.s.}	0,08±0,28 ^{n.s.}

* $p < 0,0001$, ^Δ $p < 0,001$, † $p < 0,01$, [°] $p < 0,05$, n.s. = diferença estatisticamente não significativa

Tabela 4. Espécies exóticas visitadas por beija-flores com respectivos hábitos, tipo de flor, coloração predominante e comprimento da corola, e domínios fitogeográficos de registro (MAT = Mata Atlântica, PAM = Pampa) registradas e suas características.

Família/Espécie	Hábito	Tipo de Flor	Cor	Corola (mm)	Domínio
Balsaminaceae					
<i>Impatiens walleriana</i>	Herbáceo	Calcarada	Rosa	22,31	MAT
Bignoniaceae					
<i>Campsis grandiflora</i>	Liana	Trombeta	Vermelho/laranja	28,8	PAM
Iridaceae					
<i>Crocasmia crocosmiiflora</i>	Herbáceo	Tubular	Laranja	---	MAT
Malvaceae					
<i>Dombeya wallichii</i>	Árvore	Aberta	Rosa	---	MAT
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Arbusto	Tubular	Rosa	54,75	MAT
<i>Talipariti tiliaceum</i>	Árvore	Tubular	Amarelo	57,2	MAT
Marcgraviaceae					
<i>Marcgravia myriostigma</i>	Epífita	Pincel	Esverdeada	---	MAT
Musaceae					
<i>Musa balbisiana</i>	Herbáceo	Tubular	Amarelo/vermelho	38,44	MAT
<i>Musa ornata</i>	Herbáceo	Tubular	Amarelo/vermelho	40,8	MAT
Myrtaceae					
<i>Callistemon speciosus</i>	Arbusto	Pincel	Vermelho	2,5	PAM
<i>Melaleuca leucadendra</i>	Árvore	Pincel	Branco	2,4	PAM
<i>Syzygium jambosa</i>	Árvore	Pincel	Branco	1,35	MAT
Xanthorrhoeaceae					
<i>Phormium tenax</i>	Herbáceo	Tubular	Vermelho	29,0	MAT
Zingiberaceae					
<i>Hedychium coronarium</i>	Herbáceo	Tubular	Branca	65,25	MAT

Material Suplementar

Tabela S. 1. Síntese das Métricas das Redes com respectivos quartis e Delta da Modularidade para as 35 redes avaliadas (CAA: Caatinga; PAN: Pantanal; PAM: Pampa; CER: Cerrado; MAT: Mata Atlântica).

Redes	C	2.5%	97.5%	H2	2.5%	97.5%	NODF2	2.5%	97.5%	Q	2.5%	97.5%	Delta Q
CAA40	0,381	0,512	0,580	0,127	0,002	0,005	63,51	65,83	75,07	0,093	0,009	0,009	0,083
CAA41	0,25	0,569	0,638	0,473	0,015	0,023	53,98	61,76	74,33	0,155	0,014	0,014	0,140
CAA43	0,31	0,538	0,6	0,475	0,041	0,064	60,06	53,45	65,69	0,351	0,072	0,072	0,278
CAA44	0,372	0,678	0,729	0,417	0,011	0,019	66,12	60,78	73,72	0,362	0,044	0,044	0,318
CAA45	0,295	0,556	0,647	0,631	0,013	0,035	55,44	57,37	76,9	0,458	0,041	0,041	0,416
PAN54	0,326	0,653	0,769	0,64	0,009	0,023	42,26	48,61	70,28	0,274	0,016	0,016	0,258
PAM74	0,303	0,383	0,464	0,38	0,018	0,086	63,47	53,58	69,09	0,161	0,053	0,053	0,107
CER50	0,305	0,342	0,398	0,352	0,072	0,170	56,79	32,31	48,85	0,394	0,183	0,183	0,210
CER51	0,441	0,657	0,705	0,366	0,023	0,042	65,6	54,47	69,9	0,324	0,073	0,073	0,321
CER52	0,367	0,626	0,660	0,444	0,030	0,046	54,46	49,61	64,51	0,440	0,070	0,070	0,370
CER53	0,255	0,663	0,714	0,665	0,023	0,034	30,37	54,74	64,68	0,545	0,059	0,059	0,485
CER55	0,266	0,366	0,466	0,322	0,006	0,040	29,86	54,9	76,46	0,105	0,022	0,022	0,083
CER56	0,329	0,609	0,698	0,224	0,005	0,010	59,37	60,61	76,53	0,201	0,027	0,027	0,173
CER57	0,304	0,604	0,690	0,402	0,000	0,001	66,21	73,33	85,92	0,298	0,009	0,009	0,288
CER58	0,285	0,392	0,455	0,434	0,056	0,124	50,49	36,64	56	0,385	0,136	0,136	0,249
CER85	0,206	0,307	0,346	0,416	0,062	0,111	36,73	42,73	53,65	0,305	0,113	0,113	0,191
CER86	0,334	0,561	0,595	0,241	0,021	0,031	68,7	63,14	73,67	0,254	0,065	0,065	0,189
MAT47	0,216	0,538	0,593	0,553	0,010	0,019	54,41	70,66	81,16	0,484	0,042	0,042	0,442
MAT59	0,562	0,5	0,562	0	0	1	21,62	0	27,58	0,073	0,412	0,412	-0,339
MAT60	0,468	0,671	0,728	0,404	0,043	0,070	63,08	46,5	59,947	0,359	0,093	0,093	0,266
MAT61	0,393	0,64	0,690	0,512	0,045	0,083	53,39	33,06	50,99	0,457	0,124	0,124	0,235
MAT62	0,248	0,528	0,566	0,477	0,028	0,038	63,99	56,68	64,81	0,408	0,063	0,063	0,369
MAT63	0,216	0,389	0,440	0,599	0,089	0,139	33,75	38,16	52,39	0,553	0,150	0,150	0,405
MAT64	0,262	0,262	0,287	0,289	0,045	0,251	33,07	24,84	43,84	0,062	0,050	0,050	0,011
MAT65	0,194	0,433	0,465	0,6	0,006	0,009	31,57	63,56	69,7	0,505	0,024	0,024	0,481
MAT66	0,259	0,451	0,490	0,456	0,045	0,06	45,28	53,59	63,73	0,436	0,096	0,096	0,339
MAT67	0,366	0,553	0,62	0,413	0,07	0,121	34,28	37,9	49,32	0,399	0,163	0,163	0,235
MAT68	0,192	0,295	0,319	0,576	0,060	0,109	55,67	45,25	58,23	0,467	0,131	0,131	0,280
MAT69	0,35	0,658	0,716	0,539	0,022	0,046	52,42	42,69	63,79	0,412	0,069	0,069	0,342
MAT70	0,191	0,295	0,341	0,472	0,050	0,103	41,66	40,45	58,28	0,323	0,096	0,096	0,22
MAT71	0,535	0,75	0,857	0,698	0	0,009	75,92	27,74	75,63	0,321	0,019	0,019	0,302
MAT72	0,4	0,536	0,675	0,374	0,001	0,017	19,7	50,44	76,6	0,182	0,023	0,023	0,298
MAT73	0,268	0,490	0,564	0,865	0,027	0,064	31,06	50,85	68,56	0,523	0,060	0,060	0,462
MAT91	0,152	0,264	0,293	0,541	0,136	0,208	30,79	29,3	43,01	0,484	0,225	0,225	0,259
MAT92	0,294	0,410	0,463	0,435	0,075	0,129	56,27	42,84	56,33	0,432	0,146	0,146	0,285