

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA

“A influência da heterogeneidade da paisagem na diversidade funcional de insetos e plantas em interação e em suas redes de visitação floral”.

Isabela Cristhina Reis dos Santos

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação em Entomologia

Ribeirão Preto - SP

(2022)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA

“A influência da heterogeneidade da paisagem na diversidade funcional de insetos e plantas em interação e em suas redes de visitação floral”.

Isabela Cristhina Reis dos Santos

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação em Entomologia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Boscolo

Ribeirão Preto - SP

(2022)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Reis-Santos, Isabela Cristhina

A influência da heterogeneidade da paisagem na diversidade funcional de insetos e plantas em interação e em suas redes de visitação floral, 2022.

129 p. : il. ; 30 cm

Disserta o de Mestrado, apresentada   Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP.  rea de concentra o: Entomologia.

Orientador: Boscolo, Danilo.

1. Heterogeneidade da paisagem. 2. Diversidade funcional. 3. Insetos. 4. Plantas. 5. Redes de visita o floral.

*Dedico este trabalho a todos os organismos que morreram
ou tiveram suas partes arrancadas
para que esta pesquisa
fosse realizada.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Danilo Boscolo, e à minha coorientadora, Bárbara Nobrega por toda ajuda oferecida ao longo deste trabalho. Muito obrigada! Ao Programa de Pós-graduação em Entomologia e à Capes pelos recursos humanos, financeiros, materiais e acadêmicos que obtive durante meu mestrado. À Karoline Lima, à Laura Nery, à Patrícia Alves Ferreira, à Juliana Akemi, ao Luciano Elsinor, ao Jeferson Coutinho e à Maura Helena por todas as contribuições valiosas feitas ao meu trabalho.

Aos meus pais, Vânia e Clodoaldo, e à minha avó, Cida, por todo apoio emocional, psicológico e financeiro que me deram ao longo de todos os anos da minha vida e, principalmente, durante minha graduação e pós-graduação. Ao meu irmão, Arthur, cujas conversas sobre temas filosóficos, políticos e sociais foram uma distração divertida ao longo da elaboração de minha dissertação. Eu amo vocês e me orgulho de todos, cada um à sua maneira.

Ao meu parceiro, Alan, pelo amor e crescimento que compartilhamos juntos durante todos esses anos. Sua gentileza, carisma e dedicação me inspiram a ser uma pessoa melhor... e a continuar trabalhando, mesmo quando eu não suportava mais corrigir dados e códigos no R. Eu amo você.

Às minhas amigas Natália, Marianne e Camila. Todas as nossas conversas, saídas e viagens me mostraram que vocês são pessoas incríveis e ótimas para se ter por perto. Cada vez mais me inspiro nas mulheres fortes, determinadas, talentosas e carinhosas que vocês são. Obrigada por todos os momentos de tranquilidade e diversão.

A todos os meus alunos e alunas que me fizeram repensar toda minha carreira profissional e pessoal. Com vocês, eu aprendi que só verdadeiramente aprende quem ensina. Obrigada por me mostrarem uma realidade que eu não teria acesso se continuasse dentro dos muros da universidade e por expandirem minha visão da vida e do mundo. Eu acredito imensamente em vocês!

*“E não me esquecer,
ao começar o trabalho,
de me preparar
para errar. [...]
Mas eu sempre tive medo
de delírio e erro.
Meu erro, no entanto,
devia ser o caminho
de uma verdade:
pois só quando erro
é que saio
do que
conheço e
do que
entendo.”*

(Clarice Lispector, “A paixão segundo G.H.”)

RESUMO

REIS-SANTOS, I. C. **A influência da heterogeneidade da paisagem na diversidade funcional de insetos e plantas em interação e em suas redes de visitação floral.** 2022. x p. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.

O aumento da heterogeneidade da paisagem acompanhado de aumento de conectividade e de quantidades suficientes de ambientes naturais afeta positivamente a diversidade de insetos, principalmente abelhas. Isso ocorre devido ao aumento da diversidade de recursos na paisagem e da facilidade de acesso a eles pelos insetos. No entanto, são raros os estudos que consideram a relação entre heterogeneidade da paisagem e a diversidade funcional e as interações ecológicas estabelecidas entre seres vivos em ambientes tropicais. Funções ecossistêmicas importantes para a manutenção de florestas tropicais e para a produção de alimentos, como a polinização biótica por insetos, são estruturadas a partir das interações entre plantas e insetos visitantes florais. Sabendo disso, nosso objetivo foi analisar como a heterogeneidade de paisagens da Mata Atlântica afeta a diversidade funcional de insetos e plantas em interações de visitação floral e as suas redes de visitação floral. Foram estudadas 30 paisagens da Mata Atlântica, onde 56 amostras de insetos e plantas em interação foram coletadas. Os resultados indicaram que o aumento da heterogeneidade da paisagem tem um efeito positivo para a diversidade funcional de insetos e plantas, desde que acompanhado de quantidades equilibradas de cada tipo de ambiente, altos níveis de conectividade e mudanças graduais entre ambientes em contato. Isso não foi observado para as redes de visitação floral, que ficaram mais generalistas, maiores e menos robustas com o aumento da heterogeneidade da paisagem em níveis mais locais. Esses resultados enfatizam a importância de se considerar funcionalmente a paisagem, analisando não só sua estrutura, mas os organismos e processos ecológicos que se deseja preservar ao propor medidas mais efetivas de conservação da biodiversidade na região da Mata Atlântica.

Palavras-chave: Heterogeneidade da paisagem. Diversidade funcional. Insetos. Plantas. Redes de interação. Mata Atlântica.

ABSTRACT

REIS-SANTOS, I. C. **The landscape heterogeneity effects on the functional diversity of interacting insects and plants and on their floral visitation networks.** 2022. X p. Master's dissertation submitted to the Faculty of Philosophy, Science and Letters of Ribeirão Preto. University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.

Increases in landscape heterogeneity when accompanied by increases in connectivity and enough natural environments positively affect the diversity of insects, especially bees. This happens due to the increased diversity of resources in the landscape and their easy access by insects. However, studies that consider the relationship between landscape heterogeneity and functional diversity and the ecological interactions established between organisms in tropical environments are rare. Important ecosystem functions for the maintenance of tropical forests and food production, such as biotic pollination by insects, are structured from the interactions between plants and floral visiting insects. Thus, we aimed to understand how the heterogeneity of Atlantic Forest landscapes affects the functional diversity of insects and plants in floral visitation interactions and their floral visitation networks. We studied 30 Atlantic Forest landscapes, where we collected 56 samples of interacting insects and plants. Our results indicated that increases in landscape heterogeneity had a positive effect on the functional diversity of insects and plants when accompanied by a balanced amount of each type of environment, good levels of connectivity and gradual changes between adjacent environments. This was not observed for floral visitation networks, which became more generalist, larger and less robust with increasing landscape heterogeneity in more local levels. These results emphasize the importance of considering the landscape functionally, analysing not only its structure, but also the organisms and ecological processes that are desired to be preserved by proposing more effective measures for the conservation of biodiversity in the Atlantic Forest region.

Keywords: Landscape heterogeneity. Functional diversity. Insects. Plants. Interaction networks. Atlantic Forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa dos 30 pontos de coletas da pesquisa.	21
Figura 2 – Formatos de flores utilizados como medidas de característica funcional de plantas.	27
Figura 3 – Representação do cálculo do índice de dispersão funcional de uma comunidade a partir de duas características funcionais e com cada espécie ponderada pela sua abundância. O vetor c representa o centroide, a representa a abundância da espécie j , x representa a posição da espécie j e z representa a distância da espécie j do centroide da comunidade funcional.	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de heterogeneidade espacial consideradas neste estudo.....	24
Quadro 2 - Características funcionais de plantas selecionadas para análise, medidas utilizadas e as relações entre as interações de visitação floral e as características funcionais	26
Quadro 3 - Características funcionais de insetos selecionadas para análise, medidas utilizadas e as relações entre a heterogeneidade da paisagem e as características funcionais.....	28
Quadro 4 - Métricas de rede calculadas e o que elas representam.....	30
Quadro 5 – Escalas de efeito para cada métrica de heterogeneidade da paisagem analisada	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da seleção de melhor modelo linear generalizado para dispersão funcional de insetos como variável resposta.....	43
Tabela 2 - Resultado da seleção de melhores modelos lineares generalizados para dispersão funcional de plantas como variável resposta.....	46
Tabela 3 - Resultados da seleção de melhores modelos lineares generalizados para cada variável resposta relacionada às redes de visitação floral inseto-planta.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Porcentagem de insetos para cada característica funcional analisada.	37
Gráfico 2 - Porcentagem das ordens de insetos coletadas analisadas neste trabalho.	38
Gráfico 3 - Porcentagem de plantas para cada característica funcional analisada.	39
Gráfico 4 - Principais frequências de interação para cada gênero de inseto (22 de 109).	41
Gráfico 5 - Principais frequências de interação para cada espécie de planta (25 de 147).	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FFCLRP	Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
GLM	<i>Generalised linear model</i> (Modelo linear generalizado)
LEAP	Laboratório de Ecologia e Análise de Paisagens
LEEC	Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação
NODF	<i>Nestedness metric based on overlap and decreasing fill</i> (Métrica de aninhamento baseada na sobreposição e preenchimento decrescente)
SHDI	Índice de Shannon para diversidade de paisagens
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
2.3 Hipótese de pesquisa.....	18
3. MÉTODOS	20
3.1 Caracterização da área de estudo	20
3.2 Elaboração e classificação dos mapas da área de estudo	20
3.3 Coleta de dados.....	22
3.4 Identificação de insetos e plantas coletados.....	23
3.5 Análise dos dados.....	23
3.5.1. <i>A heterogeneidade da paisagem</i>	23
3.5.2. <i>Diversidade funcional de insetos e plantas</i>	25
3.5.3. <i>Redes de visitação floral</i>	30
3.5.4. <i>Seleção das escalas de efeito de cada métrica de paisagem</i>	31
3.5.5. <i>Análise dos dados</i>	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Melhores escalas de efeito para as métricas de heterogeneidade da paisagem	35
4.2. Diversidade funcional de insetos e plantas em intera�o de visita�o floral	36
4.2.1. <i>Insetos</i>	36
4.2.2. <i>Plantas</i>	38
4.3. Redes de visita�o floral de insetos e plantas na Mata Atlântica	40
4.4. A influência da heterogeneidade da paisagem na diversidade funcional de insetos e plantas em intera�o de visita�o floral	42
4.4.1. <i>Insetos</i>	42
4.4.2. <i>Plantas</i>	45
4.5. A influência da heterogeneidade da paisagem nas redes de visita�o floral de insetos e plantas na Mata Atlântica	49
4.5.1. <i>Assimetria</i>	51
4.5.2. <i>Aninhamento</i>	53
4.5.3. <i>Conectância</i>	55
4.5.4. <i>Especializa�o da rede</i>	55
5. CONSIDERA�OES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

A heterogeneidade da paisagem, entendida como a diversidade de composição e configuração dos elementos da paisagem, possui grande influência na diversidade biológica de uma comunidade (RYSER et al., 2021). Essa influência ocorre pela relação existente entre diversidade e complementaridade de recursos naturais e diversidade de tipos de ambientes disponíveis (BROSI et al., 2008; FERREIRA et al., 2015). Além disso, o formato e a disposição dos tipos de ambientes na paisagem possuem papel fundamental na facilitação do acesso a esses recursos pelos organismos de uma comunidade (MOREIRA et al., 2015).

Por exemplo, o aumento da diversidade de tipos de ambientes (*i.e.* heterogeneidade composicional) e do grau de continuidade entre ambientes de um mesmo tipo segundo o ponto de vista das abelhas (*i.e.* conectividade funcional da paisagem) resultou em maior diversidade de recursos naturais utilizados por esses animais e maior facilidade de acessá-los (BOSCOLO et al., 2017). Isso contribuiu para uma menor competição entre as abelhas daquela comunidade, pois os recursos estavam mais bem distribuídos na paisagem e entre as espécies e eram complementares entre os diferentes tipos de ambientes. Além disso, o aumento da diversidade de ambientes na paisagem está positivamente relacionado com o aumento do sucesso de polinização por abelhas de várias espécies de plantas (MACHADO et al., 2020; SOARES et al., 2022). No entanto, os efeitos da heterogeneidade da paisagem na diversidade biológica de uma comunidade nem sempre são positivos. A diversidade de abelhas da Mata Atlântica foi negativamente afetada pela heterogeneidade composicional da paisagem quando ela não vinha acompanhada de quantidades suficientes de cobertura florestal (NERY et al., 2018).

Esses resultados corroboram com a hipótese da heterogeneidade intermediária (FAHRIG et al., 2011), em que o aumento da heterogeneidade da paisagem, quando acompanhado de quantidades suficientes de ambientes naturais disponíveis, afetar positivamente a diversidade de seres vivos de uma comunidade, porque paisagens mais heterogêneas aumentam a diversidade de recursos (STEIN; GERSTNER; KREFT, 2014). No entanto, os estudos relacionando a hipótese da heterogeneidade intermediária com a diversidade de seres vivos se restringem à diversidade taxonômica. São poucos os estudos que consideram outros aspectos da biodiversidade, como a diversidade funcional e as interações ecológicas estabelecidas

entre seres vivos de uma comunidade. Para isso, é necessário avançar nos estudos de diversidade funcional e de redes de visitação floral e suas relações com a heterogeneidade da paisagem.

A diversidade funcional tem sido apontada como mais adequada para acessar os efeitos e as respostas dos organismos nos ecossistemas, visto que ela acessa a variedade e o valor de características dos organismos que são intimamente relacionadas com suas atividades e suas respostas às condições ambientais (DÍAZ; CABIDO, 2001; LAURETO; CIANCARUSO; SAMIA, 2015, PETCHY et al., 2004; PETCHY; GASTON, 2006; TILMAN, 2001). A abordagem funcional permite acessar, por exemplo, a relação entre diversidade com serviços e funções ecossistêmicas (CADOTTE et al., 2011). Recentemente, estudos mostraram que a diversidade funcional de abelhas influencia positivamente suas interações de visitação floral, aumentando a quantidade e a qualidade de frutos e sementes produzidos, interferindo diretamente no sucesso de polinização das plantas (ALBRECHT et al., 2012; CHAMBERLAIN et al., 2014; FRÜND et al., 2013).

A polinização biótica, principalmente aquela realizada por insetos, é extremamente importante para o fluxo gênico entre as plantas (BAWA, 1990). Nas florestas tropicais, os insetos se destacam como principais agentes bióticos polinizadores, realizando a polinização de 84% a 97% das angiospermas presentes nesses biomas (KLEIN et al., 2008; OLLERTON et al., 2011). Além disso, a polinização é essencial para a produção agrícola mundial, impactando positivamente 85% dos cultivos mundiais e sendo essencial em 12% deles (KLEIN et al., 2007). Por conta da importância desses animais para a manutenção dos ecossistemas terrestres, para a reprodução sexuada das angiospermas, para o aumento do fluxo gênico entre as plantas e para a produção de alimentos (BREEZE et al., 2016; KEARNS et al., 1998; KLEIN et al., 2007; POTTS et al., 2016), é necessário compreender a dinâmica e a estrutura das redes de polinização. Para isso, pode-se construir redes de visitação floral com insetos e plantas.

As redes são modelos das interações estabelecidas entre organismos. Com elas, é possível analisar quais fatores influenciam a robustez da rede, entendida como a resiliência da rede frente a algum distúrbio, e sua estrutura (como e quantas são as interações entre as espécies). Entre esses fatores, as alterações nas paisagens estão entre os que mais se destacam (FERREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2013; FERREIRA et

al., 2020). O aumento da fragmentação e a redução de habitats naturais possuem efeitos negativos sobre as redes de visitação floral (VIANA et al., 2012). Além disso, a diversidade, distribui o e acesso aos recursos florais, intrinsecamente ligados   estrutura da paisagem, afetam a taxa de visita o em cultivos (RICKETTS et al., 2008).

Alguns trabalhos recentes acessaram a influência das altera es da paisagem nas redes de poliniza o entre abelhas e plantas em paisagens tropicais sob uma perspectiva funcional (COUTINHO et al., 2021; NOBREGA, 2020). No entanto, tais análises não incluíram outros grupos de insetos, seja pela dificuldade de padroniza o das características funcionais entre os espécimes ou pela ausência de dados para determinadas espécies e gêneros na literatura científica. A inclusão de outros insetos visitantes florais poderia enriquecer a análise e trazer contribui es importantes para a área de ecologia funcional e para a área de ecologia da poliniza o em ambientes tropicais.

Além disso, a maioria dos estudos sobre diversidade funcional e redes de visita o floral se restringem aos ambientes temperados (GARCÍA-MARTÍNEZ et al., 2015; G MEZ-VIRU S et al., 2015; PEROVIC et al., 2015; STECKEL et al., 2014). Isso se deve ao recente desenvolvimento da ecologia funcional e de redes de intera o no Brasil, com a existência de poucos trabalhos com essas abordagens em ambientes tropicais. Contribuir para o desenvolvimento da ecologia funcional e de redes de intera o no âmbito nacional   necessário, principalmente, para compreender como as intera es de visita o floral e de poliniza o – um importante serviço ecossistêmico – são influenciadas pela altera o na diversidade dos indivíduos interagentes e pelas altera es na paisagem (BIESMEIJER et al. 2006; FONTAINE et al. 2006).

Esses fatores se tornam ainda mais importantes na região da Mata Atlântica, um *hotspot* mundial que abriga mais de 8 mil espécies end micas, apesar de possuir apenas cerca de dez por cento de sua cobertura original (MYERS et al., 2000). Além disso, devido   recente ocupa o irregular do seu território, a região possui paisagens com gradientes de heterogeneidade que resultam dos diferentes tipos de cobertura e uso do solo (SOUZA, 2019). Sendo assim, a estrutura das paisagens da Mata Atlântica permite acessar como as altera es na paisagem influenciam a diversidade funcional de organismos em suas redes de intera es. Entender como as altera es antrópicas

nas paisagens desse bioma modificam sua diversidade é importante para a elaboração de medidas mais efetivas de conservação da biodiversidade.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS

Os problemas de pesquisa investigados neste trabalho foram: *Quais os efeitos da heterogeneidade de paisagens da Mata Atlântica na diversidade funcional de angiospermas e visitantes florais como abelhas, vespas, lepidópteros e dípteros em redes de interações de visitação floral? Como a heterogeneidade de paisagens da Mata Atlântica afeta as redes de visitação floral de insetos e plantas desse bioma?*

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi compreender como a heterogeneidade de paisagens da Mata Atlântica afeta a diversidade funcional de insetos e plantas em interações de visitação floral e as suas redes de visitação floral encontradas nesse bioma.

2.2 Objetivos específicos

I) Determinar as características funcionais mais importantes para as interações de visitação floral entre insetos e plantas de comunidades da Mata Atlântica a serem incluídas no cálculo de diversidade funcional;

II) Explorar como diferentes métricas de heterogeneidade espacial analisadas em diferentes escalas afetam a diversidade funcional de insetos e plantas em interação e as suas redes de visitação floral e

III) Analisar diferentes métricas que acessam a diversidade funcional de uma comunidade e selecionar aquela que melhor representa os dados coletados nos modelos construídos.

2.3 Hipótese de pesquisa

Nós hipotetizamos que o aumento da heterogeneidade da paisagem, quando acompanhada de quantidades equilibradas de cada tipo de ambiente (hipótese da heterogeneidade intermediária), afetará positivamente a diversidade funcional de insetos e plantas, porque paisagens mais heterogêneas aumentam a diversidade de

recursos (FAHRIG et al., 2011; STEIN; GERSTNER; KREFT, 2014). Isso proporciona uma distribuição mais igualitária entre os nichos funcionais das espécies (FRÜND et al., 2013), resultando em redes de visitação floral mais robustas e aninhadas. Nesse sentido, o aumento da heterogeneidade da paisagem também deve contribuir para a robustez das redes de visitação floral da Mata Atlântica, uma vez que a maior diversidade e distribuição de recursos florais permite que haja uma maior taxa de visitação floral por insetos generalistas e especialistas (RICKETTS et al., 2008).

3. MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada a partir de coletas feitas nos verões de 2015, 2016 e 2017 no corredor Cantareira-Mantiqueira do estado de São Paulo (limites da área de estudo -22.73667°S até -23.55102; -45.61916 até -47.24408), região da Mata Atlântica responsável por garantir o abastecimento de água para mais de 120 milhões de pessoas (CRUZ; VICENS; ARAÚJO, 2007; GUIMARÃES, 2006). Entre as características da região destacam-se o relevo montanhoso, com variação da altitude de 634 a 1016 m acima do nível médio do mar (SÃO PAULO SMA N° 7, 2017) e o clima úmido (B2), segundo a classificação de Thornthwaite.

Essa área foi escolhida para a realização da pesquisa por abrigar cerca de setenta por cento da população brasileira e, por conta dessa ocupação, possuir um histórico recente de degradação ambiental devido à expansão de diferentes tipos de ambientes como monoculturas, pastos, policulturas, vilas, cidades, áreas industriais, entre outros (MIRANDA, 2007; SOUZA, 2019; ZAÚ, 1998). Essa variação nos tipos de uso do solo contribui para a heterogeneidade espacial da região, característica da paisagem a ser investigada e discutida neste trabalho.

Além disso, a área investigada é considerada prioritária para a conservação da Mata Atlântica (SILVA, 2007), pois possui remanescentes de floresta ombrófila densa em estágios primário e secundário de conservação que conectam dois grandes maciços florestais desse *hotspot* mundial (MYERS et al. 2000; VELOSO; FILHO; LIMA, 1991). Assim, esses remanescentes florestais conectados ajudam a reestruturar e a conservar a biodiversidade do bioma, considerada altamente endêmica e ameaçada (ARANA; ALMIRANTE, 2007; CRUZ et al., 2007, GUIMARÃES, 2006; IBGE, 2015; MORELLATO; HADDAD, 2000; SÃO PAULO, 2022).

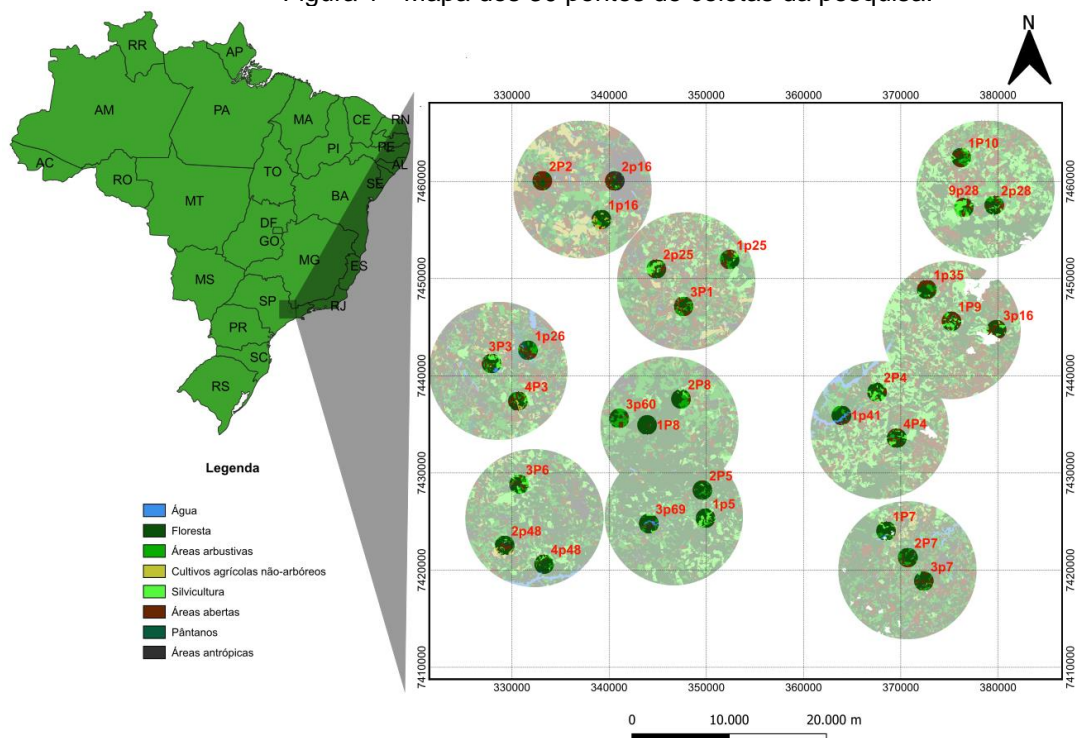
3.2 Elaboração e classificação dos mapas da área de estudo

Após a seleção do local de estudo, mapas digitalizados de cobertura e uso do solo da região foram construídos a partir de imagens de satélite de alta resolução (Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo e GIS User community) por meio de

técnicas de sensoriamento remoto e com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Esses mapas foram classificados de forma manual e supervisionada pelo Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC, UNESP) no software Quantum GIS (QGIS.org, 2021) (FIGURA 1).

A classificação dos mapas foi baseada em informações obtidas na literatura científica sobre a disponibilidade de recursos alimentares (água, pólen, néctar, entre outros) e locais de nidificação (solo exposto, cavidades em troncos, entre outros) que cada ambiente pode oferecer aos visitantes florais. Pensando nisso, a região de estudo foi classificada em 8 categorias baseadas no grau de similaridade e funcionalidade para visitantes florais: corpos d'água, floresta, áreas abertas, cultivos agrícolas, silvicultura, áreas arbustivas, pântanos e áreas antrópicas (SOARES et al., 2022). Após a classificação dos mapas da região, 30 paisagens com 1 km de raio foram selecionadas. O centro de cada paisagem encontrava-se no interior de um fragmento de floresta nativa e a distância entre os centros era de, pelo menos, 5 km. A seleção das paisagens obedeceu a um gradiente de heterogeneidade espacial, representando a variação regional dos tipos de usos do solo e a escala adequada às influências da paisagem em plantas e seus visitantes florais (STEFFAN-DEWENTER et al. 2002; WILLIAMS; WINFREE 2013).

Figura 1 - Mapa dos 30 pontos de coletas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

3.3 Coleta de dados

As coletas foram realizadas a partir de um projeto anterior (MCTI/CNPQ/Universal 449740/2014-5) desenvolvido pelo Laboratório de Ecologia e Análise de Paisagens (LEAP), coordenado pelo meu orientador e dentro do Programa de Pós-doutoramento (PNPD) de Patrícia Alves Ferreira no Programa de Pós-Graduação em Entomologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP). Todas as coletas ocorreram dentro das paisagens selecionadas durante os verões de 2015, 2016 e 2017, entre 8 h e 14 h e em dias quentes (20 - 31°C). As coletas foram realizadas no verão porque é a estação com maior probabilidade de se encontrar plantas floridas e insetos em atividade de visitação floral (ACKERMAN, 1983; LIMA et al., 2020). Além disso, as coletas ocorreram no início da manhã e da tarde, períodos de maior atividade de forrageio da maioria dos insetos por apresentar condições favoráveis a eles, como temperaturas amenas e grande luminosidade (POLLATO; CHAUD-NETTO; ALVES-JUNIOR, 2014).

Nós coletamos as amostras de insetos e flores em interação dentro das 30 parcelas localizadas no centro de fragmentos florestais de sub-bosques sombreados (a 50 m da borda do fragmento para evitar efeitos de borda) e em 25 pontos amostrais em áreas abertas imediatamente adjacentes a cada fragmento (5 pontos amostrais de fragmentos não apresentaram áreas abertas imediatamente adjacentes). Nós optamos por coletas em sub-bosque sombreado e em áreas abertas para se obter maior representatividade de insetos e flores da paisagem, visto que a composição das comunidades desses grupos de organismos pode mudar com a alteração de parâmetros microclimáticos encontrados em diferentes tipos de ambientes (BERNASCHINI, VALLADARES, SALVO, 2020).

Nós instalamos um *plot* hexagonal com 25 m de lado em cada parcela e dentro deles percorremos um caminho padronizado do centro para as bordas com velocidade constante e pausas de 15 min nas plantas com flores, nas quais os insetos visitantes legítimos (que tocam as estruturas reprodutivas das flores) foram coletados ativamente com redes entomológicas (NOBREGA, 2020). O tempo de coleta não ultrapassou uma hora por espécime de planta florida dentro do hexágono e, além dos insetos, também coletamos e herborizamos os ramos floridos das plantas visitadas por esses animais (LIMA et al., 2020).

3.4 Identificação de insetos e plantas coletados

As abelhas e borboletas já estavam identificadas em momento anterior ao meu mestrado em, pelo menos, nível de gênero. As abelhas foram identificadas pelos especialistas Dr. Sidnei Mateus e Dra. Favizia Freitas de Oliveira, enquanto as borboletas foram identificadas pelo especialista Dr. André Victor Lucci Freitas. As vespas eussociais da família Vespidae foram identificadas pelo especialista Dr. Sidnei Mateus, enquanto os dípteros foram identificados em nível de família e, alguns, de gênero pelo Laboratório de Morfologia e Evolução de Diptera, coordenado pelo Dr. Dalton de Souza Amorim. Todos os animais identificados encontram-se no Apêndice 4.

As plantas coletadas foram identificadas em momento anterior ao meu mestrado por Dra. Cíntia Kameyama, Dr. Emerson Pansarin, Dr. Guilherme de Medeiros Antar, Dr. João Marcelo Alvarenga Braga, Dr. José Ricardo Barosela, Dr. Milton Groppo Júnior, Me. Nelma Xavier Marques de Sousa, Dr. Rafael Felipe de Almeida, Dr. Rafael Trevisan, Dra. Roxana Cardoso Barreto, Me. Yago Barros, bióloga Karoline Lima entre outros. Seus vouchers foram depositados em diversos herbários do Brasil, de acordo com o local dos taxonomistas que os identificou, incluindo o da FFCLRP-USP (LIMA et al., 2020). Todas as plantas identificadas encontram-se organizadas no Apêndice 3.

3.5 Análise dos dados

3.5.1. A heterogeneidade da paisagem

Nós calculamos seis métricas de heterogeneidade da paisagem por meio do software Fragstats v.4 (MCGARIGAL; CUSHMAN; ENE, 2012): Índice de diversidade de Shannon para paisagens, densidade de riqueza de fragmentos, contágio, contiguidade, densidade de borda ponderada pelo contraste e densidade de borda (QUADRO 1). Nós escolhemos essas métricas por representarem, por meio da heterogeneidade de composição, contraste e configuração da paisagem, a diversidade e abundância de recursos oferecidos nela e a dificuldade de dispersão e movimentação imposta pela paisagem nos insetos e plantas em interação.

Além disso, nós consideramos a heterogeneidade funcional da paisagem durante a análise dos parâmetros espaciais (FAHRIG et al., 2011). É sabido que fatores microclimáticos afetam plantas e animais, impedindo ou facilitando a dispersão e o movimentos desses grupos de organismos na paisagem (BERNASCHINI; VALLADARES; SALVO, 2020). Nesse sentido, a matriz de contraste de borda foi baseada nas diferenças microclimáticas entre os ambientes em contato, bem como na disponibilidade e na diversidade de recursos de nidificação e de forrageio que cada ambiente ofereceu aos visitantes florais (Apêndice 1). Silviculturas e florestas secundárias foram consideradas mais similares entre si do que as florestas secundárias e áreas abertas, uma vez que as condições microclimáticas e os recursos oferecidos entre florestas e áreas abertas são mais dissimilares do que entre silviculturas e florestas (HATFIELD et al., 2019).

Nós também consideramos o aspecto funcional da paisagem no cálculo de densidade de borda. A intersecção entre ambientes distintos pode resultar em variações no tamanho das bordas, pois depende das diferenças nas condições microclimáticas dos ambientes em contato (HATFIELD et al., 2019). Pensando nisso, ambientes interseccionados com condições microclimáticas similares (silvicultura e floresta secundária, por exemplo) apresentaram menor profundidade de borda (20 m) do que ambientes interseccionados com condições microclimáticas distintas, por exemplo, floresta secundária e áreas abertas (30 m) (Apêndice 2). É importante ressaltar que o tamanho das profundidades de borda entre fragmentos de Mata Atlântica seguiram o proposto por Ewers e Banks-Leite (2013).

Quadro 1 – Tipos de heterogeneidade espacial consideradas neste estudo.

Tipos de heterogeneidade da paisagem	Categorias de heterogeneidade da paisagem	Métrica de paisagem e seu significado		Relação com insetos e plantas em interação
Composicional	Diversidade dos tipos de cobertura do solo	Índice de diversidade de Shannon para paisagens	Acessa a riqueza e a proporção dos tipos de ambientes na paisagem	Diversidade e quantidade de recursos a serem oferecidos na paisagem
	Riqueza dos tipos de cobertura do solo	Densidade de riqueza de fragmentos	Acessa a quantidade de diferentes tipos de ambientes na paisagem	

Continua

Tipos de heterogeneidade da paisagem	Categorias de heterogeneidade da paisagem	Métrica de paisagem e seu significado		Relação com insetos e plantas em interação
Contraste	Diversidade e dominância dos tipos de cobertura do solo	Contágio	Acessa a dispersão e interspersão dos tipos de cobertura do solo (i.e., mistura e distribuição espacial de cada tipo de cobertura do solo)	Diversidade e quantidade de recursos a serem oferecidos na paisagem;
	Continuidade de um mesmo tipo de fragmento	Contiguidade	Acessa a conectividade e a dispersão dos tipos de cobertura do solo (distribuição espacial de cada tipo de cobertura do solo)	Dificuldade de dispersão e movimentação na paisagem devido às diferenças microclimáticas
Configuracional	Dissimilaridade entre os tipos de cobertura do solo em contato	Densidade de borda ponderada pelo contraste	Acessa a diferença comparada entre os tipos de cobertura do solo em contato presentes na paisagem	Dificuldade de dispersão e movimentação na paisagem devido às diferenças microclimáticas
	Quantidade de borda ponderada pela área dos fragmentos nas paisagens	Densidade de borda	Permite acessar o padrão espacial e a magnitude do efeito de borda na paisagem	

Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho baseado em Mcgarigal, Cushman, Ene (2012).

Nós calculamos cada métrica em 4 escalas diferentes de raio da paisagem: 300 m, 500 m, 700 m e 1000 m. Optamos por adotar a abordagem multiescalar para explicar a variação dos dados coletados porque efeitos significativos de diferentes métricas foram observados em diferentes escalas na diversidade de plantas e insetos em estudos anteriores (LIMA et al., 2020; NERY et al., 2018; SOARES et al., 2022; STEFFAN-DEWENTER et al. 2002; WILLIAMS; WINFREE, 2013).

3.5.2. Diversidade funcional de insetos e plantas

Nós acessamos a diversidade funcional da vegetação por meio de quatro características funcionais das flores (Apêndice 3), sendo elas tamanho da flor, formato da flor, cor da flor e comprimento da corola (QUADRO 2). Essas características foram baseadas em Lima et al. (2020) e nós as selecionamos por possuírem estreita relação

com os visitantes florais (RECH, 2014; VAN DER PIJL, 1960; VAN DER PIJL, 1961). O tamanho da flor e a cor da flor, por exemplo, sinalizam a presença de recursos florais para certos visitantes (RECH, 2014). Já o formato da flor (FIGURA 2) e o comprimento da corola podem excluir visitantes florais que não apresentem adaptações para agirem como polinizadores da planta (VAN DER PIJL, 1960; VAN DER PIJL, 1961). Todos os dados de características funcionais de plantas foram obtidos por nós para cada espécie de planta analisada a partir da consulta na literatura científica e consulta a especialistas.

Quadro 2 - Características funcionais de plantas selecionadas para análise, medidas utilizadas e as relações entre as interações de visitação floral e as características funcionais.

Características funcionais	Medidas	Rela�o com as intera�oes de visita�o floral
Tamanho da flor	Inconsp�cua (< 4mm), pequena (4-10mm), média (10-20mm), grande (20-30mm) e muito grande (> 30mm) (Machado, Lopes, 2004)	Sinaliza a presença de recursos florais para determinados tipos de visitantes florais (RECH, 2004)
Formato da flor	Inconsp�cua, prato, funil, escova, bandeira e tubo (FAEGRI; VAN DER PIJL, 1979)	Exclui visitantes florais que não apresentam adapta�oes para agirem como polinizadores da planta, selecionando apenas os visitantes capazes de acessar os recursos florais oferecidos (VAN DER PIJL, 1960; VAN DER PIJL, 1961)
Cor da flor	Amarela, branca, laranja, rosa, verde, vermelha e violeta (MACHADO; LOPES, 2004)	Sinaliza a presença de recursos florais para determinados tipos de visitantes florais (RECH, 2004)
Comprimento da corola	Inconsp�cua (< 4mm), pequena (4-10mm), média (10-20mm), grande (20-30mm) e muito grande (> 30mm) (MACHADO; LOPES, 2004)	Exclui visitantes florais que não apresentam adapta�oes para agirem como polinizadores da planta, selecionando apenas os visitantes capazes de acessar os recursos florais oferecidos (VAN DER PIJL, 1960; VAN DER PIJL, 1961)

Fonte: Elaborado pela autora com base em de Lima et al. (2020).

Figura 2 – Formatos de flores utilizados como medidas de característica funcional de plantas.



Legenda: a: *Leonurus japonicus* Houtt. Flor em formato de canal. b: *Desmodium adscendens* (Sw.) DC. Flor em formato de bandeira. c: *Oxalis latifolia* Kunth. Flor em formato de funil. d: *Hibiscus rosa-sinensis* L. Flor em formato de prato. e: *Impatiens walleriana* Hook.f. Flor em formato de tubo. f: *Baccharis anomala* DC. Flor em formato de escova. Fontes: <http://reflora.jbrj.gov.br/> e <http://www.unirio.br/ccbs/ibio/herbariohuni/>. Acessados em 19 jun 2022.

Com relação aos insetos, nós acessamos sua diversidade funcional a partir de quatro características funcionais baseadas em Moretti et al. (2017) (Apêndice 4), sendo elas local de nidificação, socialidade, especialização da dieta e recursos buscados na flor (QUADRO 3). Nós a estudamos por meio de artigos científicos e de consulta com especialistas da área de entomologia para cada gênero de inseto, visto que não há diferença significativa em analisar em nível de espécie para as espécies selecionadas ou em nível de gênero para a estrutura das redes de visitação floral para estudos envolvendo grandes áreas e comparando redes de um mesmo estudo (NOBREGA; BOSCOLO, 2020). Todas as características foram escolhidas por se relacionarem com mudanças na paisagem e com a visita o floral.

Quadro 3 - Características funcionais de insetos selecionadas para análise, medidas utilizadas e as relações entre a heterogeneidade da paisagem e as características funcionais.

Características funcionais	Medidas	Relação com as interações de visitação floral
Local de nidificação	Solo, acima do solo, solo e/ou acima do solo ou sem ninho	Relaciona-se com resistência a distúrbios ambientais e mudanças na estrutura da paisagem (BASU et al., 2016; HOLZSCHUH; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2010; LICHTENBERG; MENDENHALL; BROSI, 2017; SYDENHAM et al., 2016)
Socialidade	Solitária, parassocial, solitária e/ou parassocial ou eussocial	Distúrbios ambientais e mudanças no uso da terra afetam a socialidade; altos níveis de socialidade podem contribuir mais com a função no ecossistema
Especialização da dieta	Especialista ou generalista (baseados na proximidade filogenética de famílias de plantas nas quais os insetos coletam os recursos buscados na flor)	Relaciona-se com a composição dos recursos buscados e com métricas da rede de visitação floral, como conectância e aninhamento
Recursos buscados na flor	Néctar; Néctar, pólen; Néctar, pólen, essências; Néctar, pólen, pétalas; Néctar, pólen, óleo; Óleo, pólen; Frutas fermentadas, animais e plantas em decomposição	Relaciona-se com a composição dos recursos buscados

Fonte: Elaborado pela autora com base em de Moretti et al. (2017).

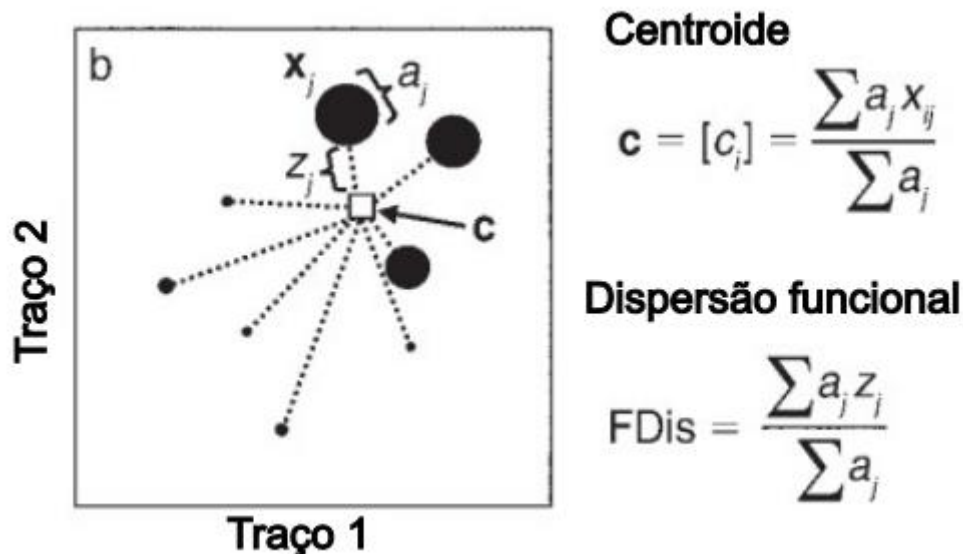
O local de nidificação responde significativamente às alterações na paisagem, como composição da vegetação, fragmentação e quantidade de solo exposto (BASU et al., 2016; HOLZSCHUH; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2010; LICHTENBERG; MENDENHALL; BROSI, 2017; SYDENHAM et al., 2016). A socialidade é afetada pela quantidade e diversidade de recursos na paisagem - como de forrageio e de nidificação (OLGIVIE; FORREST, 2017; WILLIAMS; KREMEN, 2007; WILLIAMS; REGETZ; KREMEN, 2012). No entanto, a socialidade também interfere nas redes de visitação floral, que pode apresentar mais insetos eussociais devido a sua maior abundância quando comparados aos insetos solitários (WINFREE et al., 2014). Por fim, a especialização da dieta e os recursos buscados na flor se relacionam com quantas e quais espécies de plantas o inseto visitará ou terá maior preferência na rede de visitação floral.

Os dados das características funcionais obtidos foram organizados em uma matriz de dissimilaridade de Gower (GOWER, 1971), calculada no software R (versão

4.1.0) por meio da função “dist.ktab” do pacote “ade4” (BOUGEARD; DRAY, 2018; CHESSEL; DUFOUR; THIOULOUSE, 2004, DRAY; DUFOUR, 2007; DRAY; DUFOUR; CHESSEL, 2007; R CORE TEAM, 2021; THIOULOUSE et al., 2018). Nós também construímos uma matriz de abundância por paisagem separadamente para plantas e para insetos no software Microsoft Excel® (versão 2019) para o cálculo do índice junto com a matriz de dissimilaridade. A partir dessas matrizes, nós analisamos a diversidade funcional de insetos e plantas em separado por meio do índice de dispersão funcional calculado pela função “dbFD” do pacote “FD” no software R (versão 4.1.0) (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010; LALIBERTÉ; LEGENDRE; SHIPLEY, 2014, R CORE TEAM, 2021). O cálculo do índice foi ponderado pela abundância, as distâncias foram padronizadas para terem média 0 e variância 1 e consideradas como distâncias euclidianas. Nós escolhemos o índice de dispersão funcional para representar a diversidade funcional das comunidades analisadas por não depender do número de espécies ou gêneros e do número de características funcionais (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010).

A dispersão funcional é um índice que representa a distância média de cada gênero (no caso dos insetos) ou espécie (no caso de plantas) até o centróide em um espaço multidimensional, medida a partir da matriz de dissimilaridade de Gower (FIGURA 3) (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010). Cada dimensão desse espaço corresponde a uma característica funcional e o centróide representa a soma das distâncias médias de todas as características de todos os gêneros ou espécies, ponderada pela abundância de cada gênero ou espécie (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010). Sendo assim, quanto maior o valor do índice de dispersão funcional, maior a diversidade funcional da comunidade, uma vez que mais espécies ou gêneros possuem valores de características funcionais que diferem do valor médio da comunidade (Apêndice 6).

Figura 3 – Representação do cálculo do índice de dispersão funcional de uma comunidade a partir de duas características funcionais e com cada espécie ponderada pela sua abundância. O vetor c representa o centroide, a representa a abundância da espécie j , x representa a posição da espécie j e z representa a distância da espécie j do centroide da comunidade funcional.



Fonte: LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010.

3.5.3. Redes de visitação floral

A partir das interações de visitação floral entre insetos e flores coletadas, redes bipartidas foram construídas utilizando as funções “frame2webs” e “array2linkmx” do pacote “bipartite” no software R (versão 4.1.0) (DORMANN; GRUBER; FRUEND, 2008; DORMANN et al., 2009; DORMANN et al., 2011; R CORE TEAM, 2021) para cada ponto amostral (Apêndice 7). A partir dessas redes, foram calculadas métricas que representavam a robustez das redes pela função “networklevel” do pacote “bipartite” no software R (versão 4.1.0) (DORMANN; GRUBER; FRUEND, 2008; DORMANN et al., 2009; DORMANN et al., 2011; R CORE TEAM, 2021) (QUADRO 4).

Quadro 4 - Métricas de rede calculadas e o que elas representam.

Métricas	Significado	Relação com a robustez da rede
NODF ponderado	Aninhamento das redes com as conexões ponderadas pela frequência de ocorrência de cada uma (ALMEIDA-NETO et al., 2008; ALMEIDA-NETO; ULRICH, 2011). O aninhamento ocorre quando espécies especialistas interagem com um grupo de espécies que interagem com espécies mais generalistas (BASCOMPTE et al., 2003; JORDANO et al. 2006).	Redes mais aninhadas tendem a ser mais robustas, uma vez que se ocorre a extinção de uma espécie especialista na rede que interagia com uma espécie generalista, outra espécie poderá compensar o seu lugar e evitar que ocorram extinções secundárias (BASCOMPTE et al., 2003; JORDANO et al. 2006).

Continua

Métricas	Significado	Relação com a robustez da rede
H2'	Especialização de todas as conexões de uma rede bipartida ou variação na força de interação. Quanto mais seletivas (especializadas) forem as espécies da rede com relação aos seus pares de interação, maior o H2' (BLÜTHGEN et al., 2006).	Em geral, quanto maior a especialização da rede, menor a sua robustez, uma vez que maiores são as chances de extinções secundárias ocorrerem. No entanto, caso os recursos sejam bem distribuídos e abundantes, a especialização pode contribuir para a robustez da rede (BLÜTHGEN et al., 2006; BLÜTHGEN et al., 2008).
Conectância ponderada	Densidade de conexões presentes na rede (BERSIER; BANAŠEK-RICHTER; CATTIN, 2002).	Permite acessar se a rede é composta por mais organismos generalistas ou especialistas. Em geral, redes compostas por indivíduos com muitas conexões são mais estáveis, uma vez que se uma espécie é extinta, outra compensa sua perda e evita extinções secundárias (ALTENA; HEMERIK; RUITER, 2016; BERSIER; BANAŠEK-RICHTER; CATTIN, 2002).
Assimetria da rede	Assimetria relacionada à quantidade de conexões comparada entre os dois níveis da rede. Quanto maior a assimetria, maior a diferença entre o número de conexões entre os dois níveis (especialistas interagindo com generalistas) (BLÜTHGEN et al., 2006).	Um número positivo de assimetria da rede significa que há poucas conexões com dependências fortes entre os indivíduos interagentes. Isso promove a coexistência na comunidade e redes mais robustas (BASCOMPTE et al., 2006)

Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

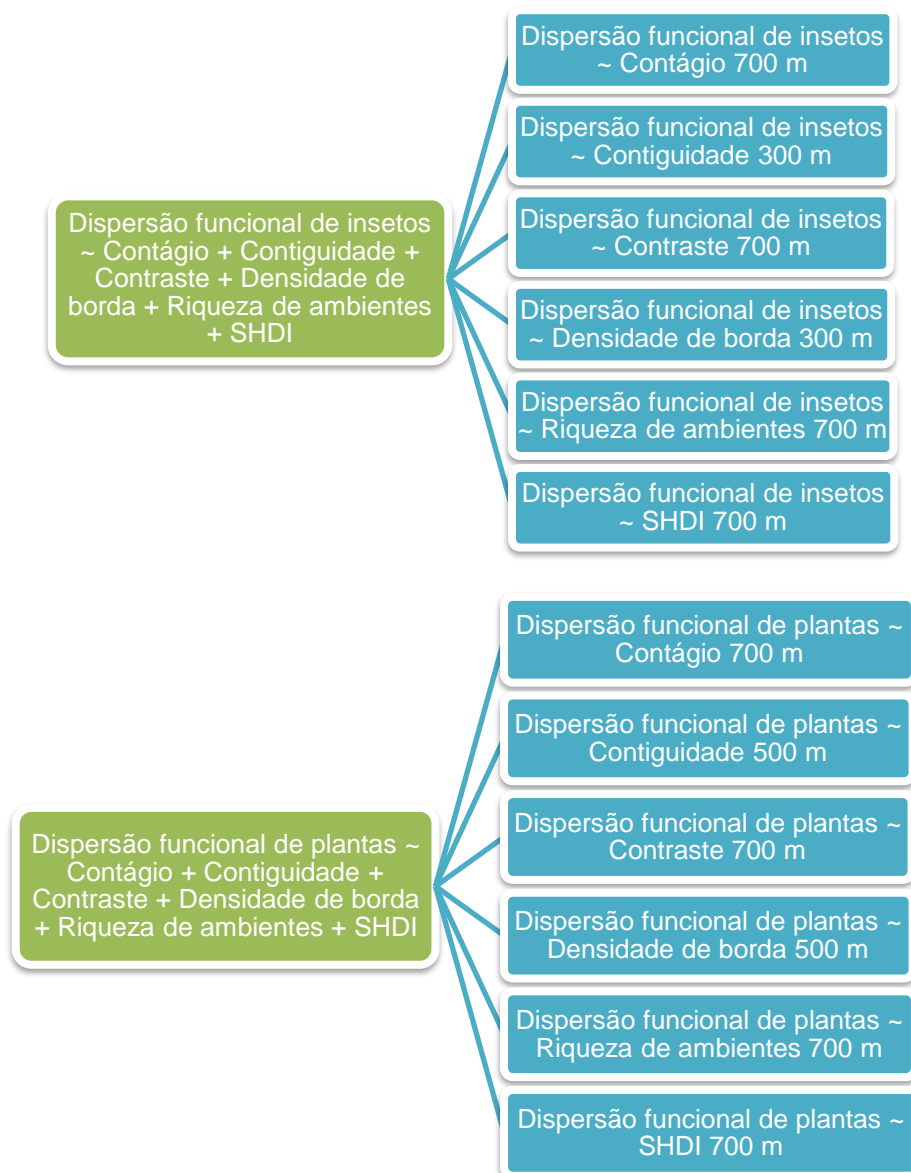
3.5.4. Seleção das escalas de efeito de cada métrica de paisagem

Neste trabalho, as variáveis respostas dos modelos lineares generalizados foram a dispersão funcional de insetos, a dispersão funcional de plantas e as quatro métricas de redes analisadas, enquanto as variáveis preditoras foram as métricas de heterogeneidade da paisagem. Nós não sabíamos qual era a melhor escala de efeito de cada métrica de heterogeneidade da paisagem para cada variável resposta dos modelos construídos, então realizamos uma análise multiescalas.

Nós analisamos como as escalas de cada métrica de paisagem interagem com cada variável resposta utilizando a função “glmulti” do pacote “glmulti” no software R (versão 4.1.0) (CALCAGNO; MAZANCOURT, 2010; R CORE TEAM, 2021). Nós utilizamos como parâmetros de análise a inclusão de uma constante, a não interação entre as variáveis preditoras, o método exaustivo de combinação das variáveis e o critério de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc). A partir dos resultados obtidos pela análise, nós selecionamos como a melhor escala de efeito de cada métrica de paisagem para cada variável resposta aquela que apresentasse o maior

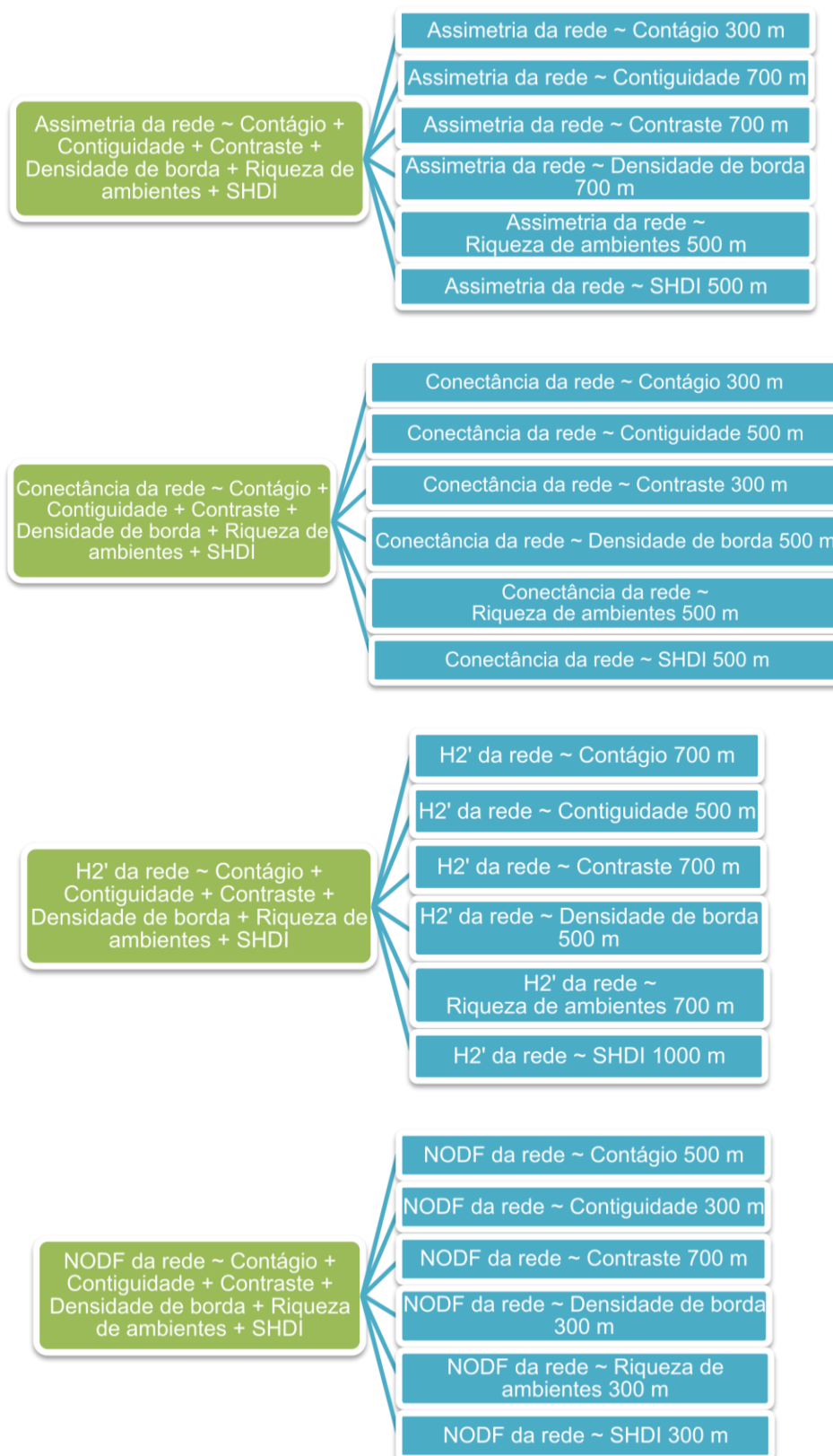
peso de evidência de Akaike (w_i) dentro dos modelos (FIGURA 4 e FIGURA 5). Os gráficos contendo os resultados encontrados estão no Apêndice 8.

Figura 4 – Seleção das melhores escalas de efeito de cada métrica de heterogeneidade da paisagem para dispersão funcional de insetos e plantas e os resultados encontrados.



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Figura 5 – Seleção das melhores escalas de efeito de cada métrica de heterogeneidade da paisagem para métricas de redes e os resultados encontrados.



3.5.5. Análise dos dados

Após a análise e seleção das melhores escalas de efeito, nós construímos conjuntos de modelos lineares generalizados. No primeiro, a variável resposta foi a dispersão funcional de insetos em cada ponto amostral em cada ano de coleta, enquanto as variáveis preditoras foram as métricas de heterogeneidade da paisagem, cada uma com sua melhor escala de efeito para dispersão funcional de insetos. O segundo conjunto de modelo construído foi idêntico ao primeiro, exceto pela dispersão funcional que, em vez de ser a dos insetos, foi a de plantas em cada ponto amostral. Os outros modelos tiveram como variável resposta as métricas de redes para as interações de visitação floral por insetos observadas na Mata Atlântica. Como foram analisadas quatro métricas de rede, quatro conjuntos de modelos lineares generalizados foram construídos, com todos eles tendo as métricas de heterogeneidade da paisagem como variáveis preditoras, cada uma com sua melhor escala de efeito para cada métrica de rede. Assim, seis conjuntos de modelos lineares generalizados foram construído no total.

De cada conjunto de modelo construído, nós selecionamos os cinco melhores modelos lineares generalizados baseados no menor valor do critério de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc), totalizando 30 modelos. Nós realizamos a seleção no software R (versão 4.1.0) por meio da função “glmulti” do pacote “glmulti” (CALCAGNO; MAZANCOURT, 2010; R CORE TEAM, 2021), utilizando como parâmetros de análise a inclusão de uma constante e a não interação entre as variáveis preditoras. A partir da seleção desses 30 modelos, nós utilizamos a função “glm” com a família gaussiana e o link identidade no software R (versão 4.1.0) para compreender como cada variável preditora influenciava a variável resposta (R CORE TEAM, 2021). Por fim, nós testamos a quantidade de variação dos dados que os modelos conseguiram explicar a partir de uma análise de desvios (ANDEVA - Analysis of deviance) no software R (versão 4.1.0) por meio da função “anova” para todos os modelos construídos (R CORE TEAM, 2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Melhores escalas de efeito para as métricas de heterogeneidade da paisagem

Os resultados acerca das melhores escalas de efeito de cada métrica de heterogeneidade da paisagem dentro de cada conjunto de modelo construído estão resumidos no QUADRO 5.

Quadro 5 – Escalas de efeito para cada métrica de heterogeneidade da paisagem analisada.

Métricas de paisagem	Variável resposta do GLM	Melhor escala de efeito	wi
Contágio	Dispersão funcional de insetos	700 m	.
	Dispersão funcional de plantas	700 m	.
	Assimetria da rede	300 m	*
	Conectância ponderada da rede	300 m	.
	H2' da rede	700 m	*
	NODF ponderado da rede	500 m	.
Contiguidade	Dispersão funcional de insetos	300 m	*
	Dispersão funcional de plantas	500 m	.
	Assimetria da rede	700 m	*
	Conectância ponderada da rede	500 m	.
	H2' da rede	500 m	*
	NODF ponderado da rede	300 m	**
Contraste	Dispersão funcional de insetos	700 m	***
	Dispersão funcional de plantas	700 m	***
	Assimetria da rede	700 m	.
	Conectância ponderada da rede	300 m	.
	H2' da rede	700 m	.
	NODF ponderado da rede	700 m	*
Densidade de borda	Dispersão funcional de insetos	300 m	.
	Dispersão funcional de plantas	500 m	.
	Assimetria da rede	700 m	*
	Conectância ponderada da rede	500 m	.
	H2' da rede	500 m	*
	NODF ponderado da rede	300 m	*
Densidade de riqueza	Dispersão funcional de insetos	700 m	.
	Dispersão funcional de plantas	700 m	.
	Assimetria da rede	500 m	.
	Conectância ponderada da rede	500 m	*
	H2' da rede	700 m	**
	NODF ponderado da rede	300 m	*
SHDI	Dispersão funcional de insetos	700 m	.
	Dispersão funcional de plantas	700 m	*
	Assimetria da rede	500 m	.
	Conectância ponderada da rede	500 m	.
	H2' da rede	1000 m	*
	NODF ponderado da rede	300 m	*

Legenda: . wi < 0,4; * wi > 0,4 < 0,6; ** wi > 0,6 < 0,8; *** > 0,8. Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Os dados obtidos indicam que o SHDI atua em escalas mais amplas da paisagem, geralmente maiores do que 500 m de raio. Esse padrão também foi observado pelas métricas de contágio, contraste e riqueza de ambientes, que possuem escalas de efeito, principalmente, em 700 m, enquanto métricas como

contiguidade e densidade de borda apresentam escalas de efeito intermediárias de 500 m.

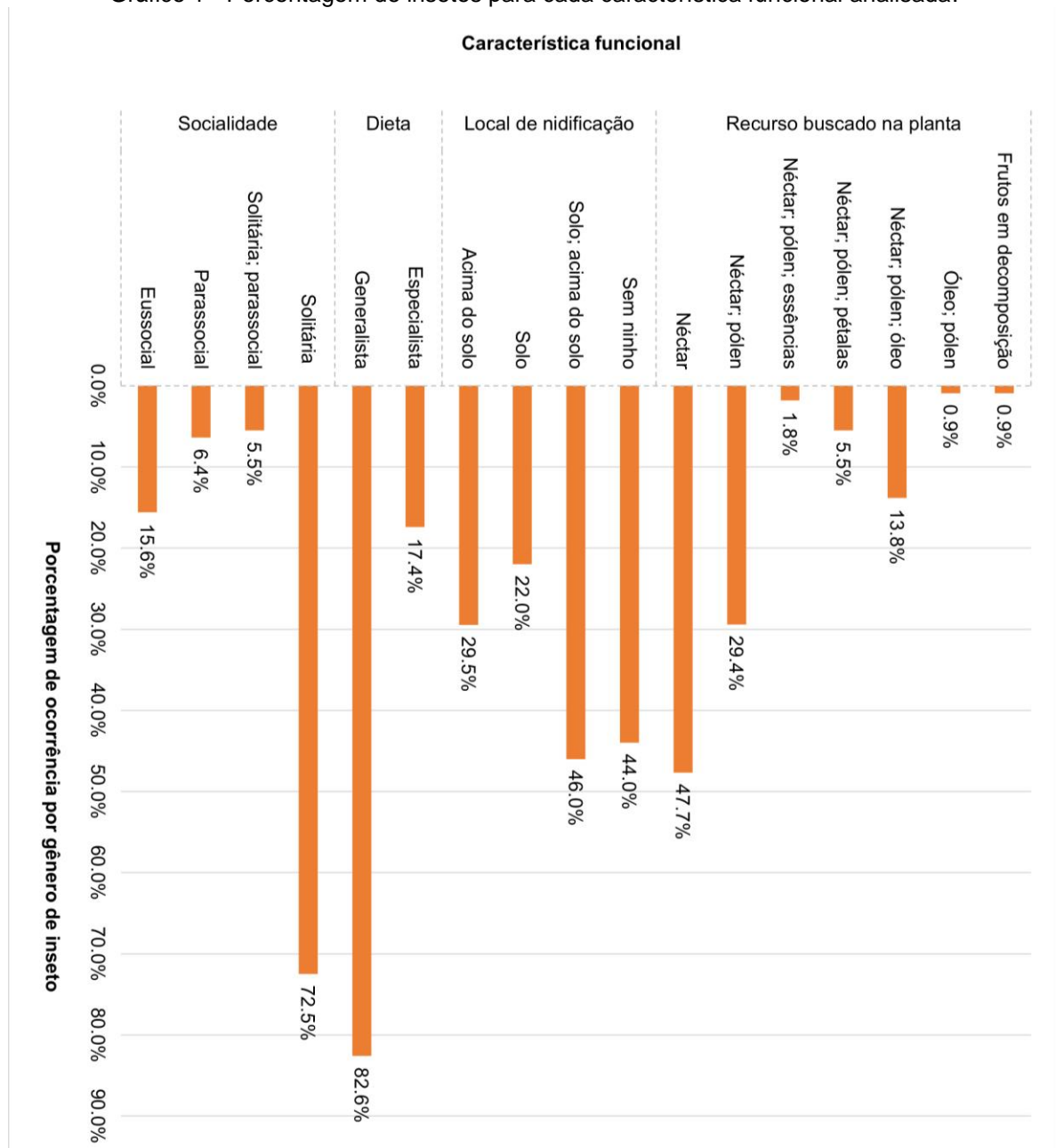
Além disso, é possível observar que a maioria das métricas de paisagem não apresentaram altos valores de w_i , indicando que as melhores escalas de efeito encontradas não se distinguiram muito das outras analisadas. Esse padrão não foi observado apenas em 4 situações, na escala de 700 m do contraste da paisagem no modelo de dispersão funcional de insetos e de plantas, na escala de 300 m de contiguidade da paisagem no modelo de NODF ponderado e na escala de 700 m de riqueza de ambientes na paisagem no modelo de especialização da rede (H2'). Esses 4 resultados indicam que as escalas de efeito dessas métricas de paisagem se destacaram quando comparadas às demais.

4.2. Diversidade funcional de insetos e plantas em interação de visitação floral

4.2.1. Insetos

Os insetos analisados durante este trabalho totalizaram 109 gêneros diferentes pertencentes a 17 famílias distintas de 3 ordens de insetos, Hymenoptera, Diptera e Lepidoptera. A maioria dos gêneros é estritamente solitário (72,5%), com hábito alimentar generalista (82,6%), não constrói ninho (44,0%) e busca como recurso principal na planta apenas o néctar (47,7%) (GRÁFICO 1).

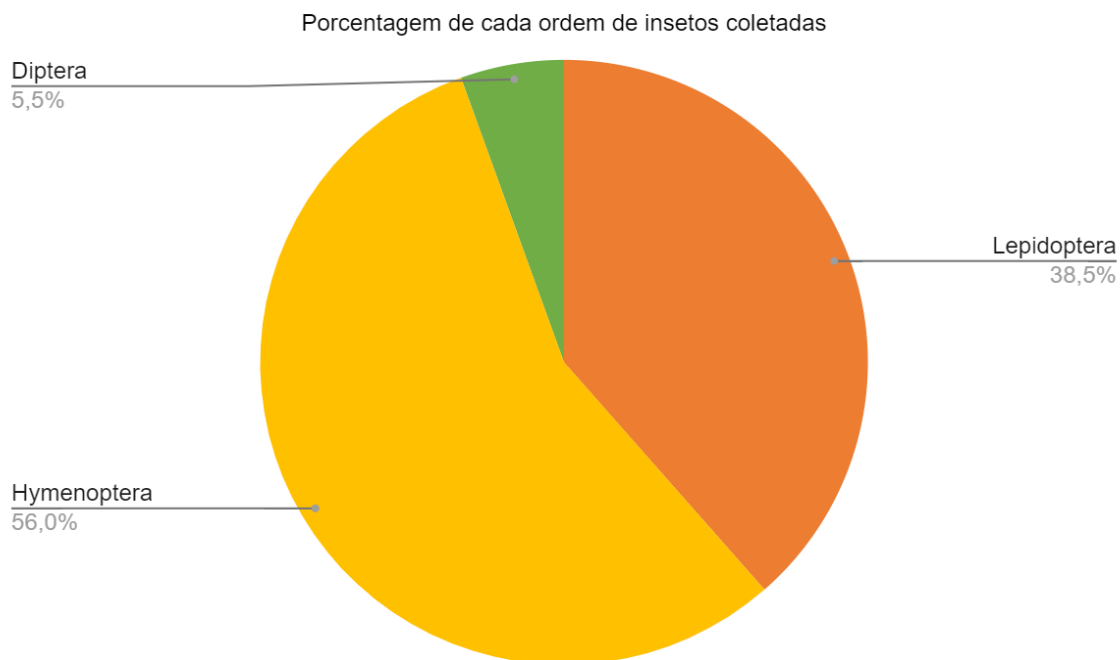
Gráfico 1 - Porcentagem de insetos para cada característica funcional analisada.



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Essas características resultam de uma amostra composta, majoritariamente, por himenópteros (56,0%) e lepidópteros (38,5%) (GRÁFICO 2). A maioria desses dois grupos de insetos são solitários e com uma dieta alimentar generalista (AVILA JR. et al., 2010; MICHENER, 2007; RECH et al., 2014). Já a ausência da construção de ninhos e a busca estrita do néctar na flor resultam de hábitos de nidificação e de forrageio de lepidópteros e dípteros que, em sua maioria, não buscam outro recurso na flor e não possuem registros de construção de ninho e de eussocialidade.

Gráfico 2 - Porcentagem das ordens de insetos coletadas analisadas neste trabalho.



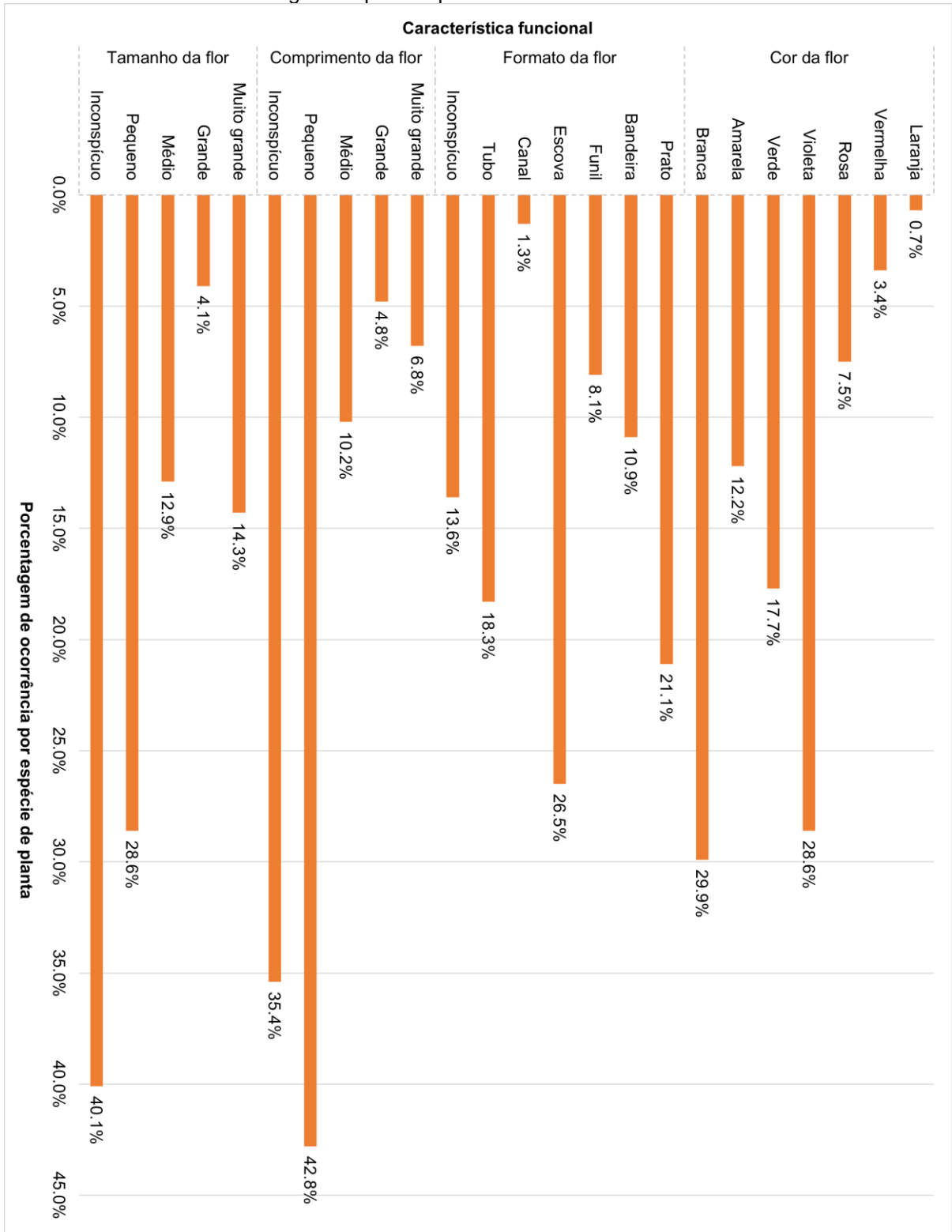
Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

4.2.2. Plantas

As plantas analisadas nesta pesquisa totalizaram 147 espécies ou morfoespécies diferentes pertencentes a 36 famílias de plantas (Anexo 3). A maioria das espécies possui flores de tamanho inconspícuo (40,14%), comprimento pequeno (42,86%), formato em escova (26,53%) e cor branca (29,93%) (GRÁFICO 3).

O domínio dessas características funcionais nas flores coletadas se relaciona com as síndromes de polinização realizadas por abelhas e lepidópteros que, como visto anteriormente, compõem a maioria dos insetos coletados. Geralmente, o tamanho inconspícuo e o comprimento pequeno da flor se relacionam com a visitação de vários tipos de insetos, principalmente aqueles com dimensões corporais pequenas, como abelhas e vespas (RECH et al., 2014). Isso porque esses dois grupos de insetos possuem dimensões corporais pequenas quando comparadas às dos lepidópteros, e flores diminutas facilitam o acesso por himenópteros aos recursos disponibilizados, como o néctar (RECH et al., 2014).

Gráfico 3 - Porcentagem de plantas para cada característica funcional analisada.



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Além disso, o formato em escova (órgãos sexuais concêntricos e difusos) permite que a flor seja explorada quando os animais ainda estão em voo ou quando estão pousados nela (VAN DER PIJL, 1960; VAN DER PIJL, 1961), facilitando o

acesso por abelhas, vespas e lepidópteros que adejam e que não adejam (RECH et al., 2014). Por fim, a cor branca ou pálida está relacionada com a atração visual de lepidópteros (RECH et al., 2014), um dos principais visitantes florais observados em nossas amostras. Todos esses aspectos demonstram que a maior parte das flores coletadas possuem características funcionais que permitem a visitação por uma grande variedade de tipos de insetos.

4.3. Redes de visitação floral de insetos e plantas na Mata Atlântica

Inicialmente, estava previsto para serem construídas 56 redes correspondentes a cada ponto amostral. No entanto, 10 redes foram descartadas da análise por possuírem apenas 1 ou 2 interações e as medidas de estrutura e robustez da rede não retornarem um número válido para redes tão pequenas. Sendo assim, nós consideramos ao longo das análises das métricas de rede 46 redes de visitação floral inseto-plantas, todas com mais de duas interações por ponto amostral.

Foram registradas 2096 interações de visitação floral ao todo (Apêndice 7). Dentre essas interações, os insetos que mais interagiram com as plantas foram os pertencentes à ordem Hymenoptera, principalmente os gêneros de abelhas eussociais e com hábitos generalistas, como *Apis* (21,5%) e *Trigona* (14,2%), que contribuíram com mais de 35% de todas as interações registradas. Além disso, insetos solitários ou parassociais, como os dos gêneros *Ceratina* (5,2%), *Augochlora* (4,0%) e *Paratrigona* (3,3%) também apresentaram grande número de interações, somando 12,5% de todas as interações observadas (GRÁFICO 4). Juntos, esses 5 gêneros de abelhas somam 48,2% de todas as interações registradas nas redes. Ainda, quando somadas todas as interações estabelecidas entre abelhas e plantas, notamos que esse grupo de insetos é responsável por mais de 76% de todas as interações registradas. Esses resultados reafirmam a importância das abelhas para a polinização dos ambientes tropicais terrestres, como observado em outros trabalhos (KLEIN et al., 2008; OLLERTON et al., 2011; RECH et al., 2014; VIANA et al., 2012).

Gráfico 4 - Principais frequências de interação para cada gênero de inseto (22 de 109).



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Com relação às plantas, houve um domínio das interações pelas espécies *Paspalum notatum* Flüggé (11,5%), *Sida rhombifolia* L.(6,7%), *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski (5,7%) e *Elephantopus mollis* Kunth (4,6%). Essas quatro espécies contribuíram com cerca de 28% das interações de visitação floral observadas (GRÁFICO 5). Essas espécies de plantas se desenvolvem em locais bastante alterados pela ação humana, sendo comum a ocorrência em pastos e cultivos com uso de máquinas pesadas, e possuem hábitos herbáceos ou gramíneos. Além disso, todas apresentam flores organizadas em inflorescências de coloração branca, amarela ou violeta, o que pode resultar em uma maior atratividade para insetos buscando por recursos, principalmente abelhas e borboletas.

Gráfico 5 - Principais frequências de interação para cada espécie de planta (25 de 147).



Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

4.4. A influência da heterogeneidade da paisagem na diversidade funcional de insetos e plantas em interação de visitação floral

4.4.1. Insetos

A partir do cáculo do  ndice de dispersão funcional de insetos e de cada métrica de paisagem, foram selecionadas as melhores escalas de efeito e os 5 melhores modelos que explicassem a varia o dos dados de dispersão funcional de insetos com rela o às métricas de heterogeneidade de paisagem (modelo que com menores valores de AICc) (Apêndice 8). A melhor escala de efeito para a maioria das métricas de paisagem foi a de 700 m. No entanto, os modelos que melhor representaram a varia o dos dados de dispersão funcional de insetos compreendeu têm métricas de paisagem cuja escala de efeito foi de 300 m, como mostrado na TABELA 1.

A influência da heterogeneidade da paisagem em escalas mais locais na diversidade funcional de insetos se relaciona com as condi es microclimáticas e com a disponibilidade de recursos de forrageio e de nidifica o próximos às regiões onde tais organismos se estabelecem (KENNEDY et al., 2013; TAKI; KEVAN; ASCHER, 2007). Vários estudos apontam que os insetos são afetados pelas condi es

microclimáticas e da fenologia das plantas que visitam (BRUNBJERG et al., 2020). Regiões com pouco vento e com temperaturas amenas são ideais para esse grupo de organismos (PENG; FLETCHER; SUTTON, 1991), enquanto a rotatividade temporal de floração das plantas da região são positivas por oferecerem recursos de forrageio ao longo de todo o ano.

Tabela 1 - Resultado da seleção de melhor modelo linear generalizado para dispersão funcional de insetos como variável resposta.

Valores AICc	Melhores modelos	wi	Coeficientes	ANDEVA (Δ)
-83.361	Dispersão funcional de insetos ~ 1 + densidade de borda 300 m + contiguidade 300 m + contraste 700 m	0.406	1 = -38.135 Borda 300 m = 0.022 Contiguidade 300 m = 39.940 Contraste 700 m = -0.008	0.157 (0.763-0.606)
-81.851	Dispersão funcional de insetos ~ 1 + contiguidade 300 m + contraste 700 m	0.191	1 = -0.254 Contiguidade 300 m = 1.198 Contraste 700 m = -0.008	0.113 (0.763-0.650)
-81.617	Dispersão funcional de insetos ~ 1 + densidade de borda 300 m + contraste 700 m	0.170	1 = 0.915 Borda 300 m = -0.001 Contraste 700 m = -0.008	0.111 (0.763-0.652)
-80.958	Dispersão funcional de insetos ~ 1 + contraste 700 m	0.122	1 = 0.834 Contraste 700 m = -0.008	0.075 (0.763-0.688)
-78.331	Dispersão funcional de insetos ~ 1 + densidade de borda 300 m + contiguidade 300 m + contraste 700 m + riqueza 700 m	0.033	1 = -38.600 Borda 300 m = 0.022 Contiguidade 300 m = 40.425 Contraste 700 m = -0.008 Riqueza 700 m = -0.010	0.159 (0.763-0.604)

Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Além disso, insetos que constroem ninhos, e que correspondem a 56% dos animais analisados nesta pesquisa, necessitam de condições adequadas de solo ou de cavidades adequadas (troncos de árvores, buracos em alvenarias). Quantidade de solo exposto, nível de compactação do solo, declividade, quantidade de troncos de árvores caídos, entre outras, são características locais que podem favorecer ou impedir o estabelecimento dos insetos em determinadas regiões (CANE, 1991; POTTS et al, 2005). Todos esses fatores que afetam a ocorrência dos insetos em uma comunidade são dependentes da heterogeneidade da paisagem em escalas mais locais, justificando a relação entre heterogeneidade da paisagem ao longo de 300 m de raio e diversidade funcional de insetos encontrada nesta pesquisa.

Ademais, observamos que a densidade de borda, a contiguidade e o contraste de borda são as principais características da paisagem a influenciar a diversidade funcional de insetos. Enquanto a densidade de borda e a contiguidade tiveram um efeito positivo para os insetos, o contraste da paisagem teve o efeito oposto. Isso indica que a conectividade entre as manchas de um mesmo tipo de ambiente, medida pelas métricas de contiguidade e de contraste da paisagem, tem um papel importante para a diversidade funcional de insetos, pois facilita o fluxo e o movimento entre os ambientes e, conseqüentemente, o acesso aos recursos disponibilizados pela paisagem em escalas mais locais (BOSCOLO et al., 2017). Além disso, o efeito observado do contraste na diversidade funcional de insetos aponta que matrizes não-florestais próximas ao ótimo florestal promovem a conectividade da paisagem, mesmo se os fragmentos florestais forem descontínuos, pois permite que os insetos se desloquem e cheguem à floresta.

Com relação aos efeitos positivos da borda entre ambientes para a diversidade funcional de insetos, ambientes de borda possuem um microclima e uma estrutura vegetal diferentes da área central da mancha a qual pertencem e da mancha adjacente a eles (MURCIA, 1995). Essas mudanças microclimáticas nas bordas das manchas podem alterar a composição da diversidade de insetos, uma vez que esses animais são sensíveis às mudanças de temperatura, umidade, quantidade de radiação solar e velocidade dos ventos (PENG; FLETCHER; SUTTON, 1991). Além disso, fatores abióticos exercem uma forte influência na riqueza de produtores primários, incluindo plantas vasculares (BRUNBJERG et al., 2020).

Nesse sentido, a relação positiva entre diversidade funcional de insetos com o aumento da quantidade de borda pode ser interpretada como uma mudança na composição da comunidade (BERNASCHINI; VALLADARES; SALVO, 2020). Com isso, é possível concluir que o aumento da quantidade de borda se relaciona positivamente com a diversidade funcional da comunidade de insetos porque as mudanças microclimáticas nesses ambientes possibilitam a criação e, posteriormente, ocupação de novos nichos funcionais (FRÜND et al., 2013).

No entanto, outros fatores envolvidos com a quantidade de borda, como a qualidade dos elementos adjacentes, têm um papel importante na manutenção da diversidade funcional de insetos, como demonstrou a resposta negativa da diversidade funcional de insetos com relação ao contraste de borda. Isso permite

afirmar que as bordas são positivas para a diversidade funcional de insetos quando os ambientes em contato não são muito contrastantes um do outro, resultando em uma mudança gradual das condições microclimáticas e dos recursos florais oferecidos. Assim, para a conservação da diversidade funcional de insetos em paisagens agrícolas na Mata Atlântica, é preferível que a floresta primária ou secundária esteja em contato com ambientes agrícolas de silvicultura em vez de ambientes de pasto manejado ou de cultivos agrícolas não arbóreos e/ou não floridos.

A partir desses resultados, pode-se concluir que a diversidade funcional de insetos é positivamente afetada pela heterogeneidade da paisagem no que diz respeito à conectividade, à diversidade de ambientes e ao menor contraste de ambientes em contato. Todos esses aspectos da heterogeneidade da paisagem influenciam a diversidade funcional de insetos em uma escala mais local (300 m), o que difere das plantas (ver na seção a seguir), pois está relacionada com a diversidade, disponibilidade e complementaridade de recursos de nidificação e de forrageio, com as condições microclimáticas da região em que os insetos se estabelecem e com seu deslocamento na paisagem.

4.4.2. Plantas

A escala de efeito da heterogeneidade da paisagem que melhor representou a variação nos dados de diversidade funcional de plantas foi 700 m, como observado nos 5 melhores modelos estatísticos encontrados para diversidade funcional de plantas na TABELA 2. A escala de efeito para plantas difere daquela encontrada para os insetos (Apêndice 8), referindo-se aos efeitos da heterogeneidade da paisagem em escalas mais amplas. Isso está relacionado com a diferença entre a área necessária para o estabelecimento das populações de plantas e aquela necessária para os insetos, com a diferença de mobilidade entre esses dois grupos de organismos e com a diferença de longevidade entre plantas e insetos (METZGER et al., 2009; TAKI; KEVAN, 2007). As plantas arbóreas, em geral, necessitam de grandes áreas para se estabelecerem e, assim, são afetadas por mudanças da paisagem em escalas mais amplas.

Além disso, por serem organismos sésseis e possuírem alta expectativa de vida comparada à dos insetos, as plantas ficam restritas aos recursos encontrados nas áreas em que se estabeleceram (METZGER et al., 2009). Isso significa que, se a área

onde se encontram mantiver recursos (*i.e.* luminosidade, umidade, nutrientes, entre outros) para garantir a sobrevivência da comunidade de plantas, mudanças na paisagem local podem não ser intensas o suficiente e só serem perceptíveis em longos períodos de tempo dentro das comunidades de plantas de sub-bosque. Todos esses fatores explicam por que a heterogeneidade da paisagem só é percebida pela comunidade de plantas quando são extremamente intensos e dominam a paisagem em escalas mais amplas.

Tabela 2 - Resultado da seleção de melhores modelos lineares generalizados para dispersão funcional de plantas como variável resposta.

Valores AICc	Melhores modelos	wi	Coefficientes	ANDEVA (Δ)
-47.942	Dispersão funcional de plantas ~ 1 + shdi 700 m + riqueza 700 m + contraste 700 m + contiguidade 500 m + densidade de borda 500 m + contágio 700 m	0.193	1 = -94.349 Shdi 700 m = 1.965 Riqueza 700 m = -0.386 Contraste 700 m = -0.022 Contiguidade 500 m = 92.461 Borda 500 m = 0.053 Contágio 700 m = 0.065	0.873 (1.842-0.990)
-46.548	Dispersão funcional de plantas ~ 1 + contágio 700 m + contraste 700 m + riqueza 700 m + shdi 700 m	0.096	1 = -2.234 Contágio 700 m = 0.053 Contraste 700 m = -0.021 Riqueza 700 m = -0.311 Shdi 700 m = 1.630	0.746 (1.864-1.118)
-46.286	Dispersão funcional de plantas ~ 1 + contraste 700 m	0.084	1 = 1.930 Contraste 700 m = -0.021	0.584 (1.864-1.280)
-46.198	Dispersão funcional de plantas ~ 1 + densidade de borda 500 m + contiguidade 500 m + contraste 700 m	0.081	1 = -76.647 Borda 500 m = 0.044 Contiguidade 500 m = 79.701 Contraste 700 m = -0.021	0.688 (1.864-1.176)
-45.097	Dispersão funcional de plantas ~ 1 + contágio 700 m + contraste 700 m	0.046	1 = 1.894 Contágio 700 m = 0.003 Contraste 700 m = -0.024	0.612 (1.864-1.252)

Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

Com relação às métricas de paisagem que mais afetaram a diversidade funcional de plantas, é necessário se atentar para os efeitos do índice de Shannon para paisagens (SHDI), a riqueza de ambientes, o contraste de borda e a densidade de borda. Enquanto o SHDI e a densidade de borda se relacionaram positivamente com a diversidade funcional de plantas, a riqueza de ambientes e o contraste tiveram o efeito oposto. Esses resultados corroboram com a hipótese da heterogeneidade intermediária adotada neste trabalho, principalmente quando analisamos os resultados obtidos com o SHDI e com a riqueza de ambientes.

A riqueza de ambientes na paisagem refere-se apenas à quantidade de diferentes tipos de ambientes na paisagem, enquanto o SHDI informa também a contribuição proporcional de cada um na paisagem. Quanto maior o SHDI, maior a riqueza de ambientes e maior a uniformidade das áreas entre eles. A partir dos resultados obtidos pela análise, nós interpretamos que apenas a presença de diferentes tipos de ambientes na paisagem não é suficiente para promover a diversidade funcional de plantas. É necessário que essa riqueza esteja acompanhada de quantidades equilibradas de cada tipo de ambiente, oferecendo não só maior diversidade de recursos para as plantas, como também a divisão dos recursos entre todas as espécies, promovendo uma distribuição mais igualitária entre os nichos funcionais e a coexistência de mais espécies em um ambiente heterogêneo (FRÜND et al., 2013; TILMAN, 1997).

Quando os níveis de distribuição dos recursos não são suficientes e a taxa de dispersão entre os organismos é muito variável, o acesso aos recursos pelos organismos é dificultado e aumenta a competição por eles (HAMM; DROSSEL, 2017; MATTHIESSEN; MIELKE; SOMMER, 2010). A maior distribuição e diversidade dos recursos na paisagem, acessadas indiretamente pelo SHDI, permite que plantas com diferentes características funcionais coexistam e possuam maior taxa de visitação floral por diferentes tipos de insetos, contribuindo para o seu ciclo reprodutivo. Isso cria um efeito cíclico, em que quanto maior a diversidade de plantas, maior a diversidade de visitantes florais e maior a taxa de reprodução vegetal, com o ciclo se iniciando novamente (BIESMEIJER et al., 2006).

Para interpretar os resultados relacionados aos efeitos positivos do aumento da densidade de borda na diversidade funcional de plantas e os efeitos contrários do contraste de borda nessa mesma variável resposta, é necessário considerar os métodos de coletas utilizados, a situação dos fragmentos florestais de Mata Atlântica e o aumento da diversidade funcional de insetos promovido pelas bordas da paisagem. Atualmente, a Mata Atlântica está severamente fragmentada, com cerca de metade das áreas centrais dos fragmentos desse bioma encontrando-se a menos de 100 m de distância da borda e setenta por cento estão menos de 250 m distantes de áreas abertas (RIBEIRO et al., 2009). Isso indica que os efeitos de borda, relacionados às alterações no microclima e na riqueza dos produtores primários (BRUNBJERG et al., 2020; KAWARASAKI; HORI, 2001; LIMA et al., 2020; MURCIA,

1995), se estendem muitos metros para dentro da floresta. É o que pode ter ocorrido com as coletas das plantas e insetos analisadas neste trabalho que, apesar de terem sido realizadas distantes em 50 m das bordas dos fragmentos, foi possível observar a interferência dos efeitos de borda em nossas análises.

Esses efeitos de borda podem ter alterado a composição funcional da comunidade de plantas nas paisagens mais densas em bordas, favorecendo a ocorrência plantas com características funcionais distintas de plantas encontradas no interior do fragmento. Ambientes de borda possuem maior taxa de penetração da luz através do dossel da floresta, contribuindo com uma maior taxa de floração das plantas que gostam de luz e vivem no sub-bosque da floresta (KAWARASAKI; HORI, 2001; LIMA et al., 2020). Dessa forma, as plantas que florescem em ambientes com menor luminosidade, como aquelas encontradas no sub-bosque da Mata Atlântica, possuem características funcionais diferentes daquelas encontradas em ambientes com alta luminosidade. Sendo assim, a relação positiva entre diversidade funcional de plantas e densidade de borda deve-se a mudança na composição funcional da comunidade de plantas nos fragmentos de Mata Atlântica, contribuindo para o aumento da diversidade funcional desse grupo de organismos quando analisamos a comunidade como um todo.

Somado a isso, nós interpretamos a relação positiva entre diversidade funcional de plantas e densidade de borda de forma indireta, relacionando-a com o aumento da diversidade funcional de insetos que, por sua vez, foi promovido pelo surgimento de novos ambientes localizados entre fragmentos em contato pouco contrastantes. O aumento da diversidade funcional de insetos se reflete no aumento da diversidade funcional de plantas, visto que promove a reprodução de plantas com diferentes características funcionais pelo aumento na provisão de polinizadores.

A partir desses resultados, podemos concluir que a diversidade funcional de plantas é positivamente afetada pela heterogeneidade da paisagem no que diz respeito à diversidade de ambientes acompanhada da uniformidade de área entre esses ambientes e ao pouco contraste de ambientes em contato. Esses aspectos da heterogeneidade da paisagem influenciam a diversidade funcional de plantas em uma escala mais ampla (700 m), pois está relacionada com a mobilidade, expectativa de vida e resistência das plantas frente às mudanças ambientais na região em que elas se estabelecem. Além disso, a heterogeneidade da paisagem também influencia de

forma indireta a diversidade funcional de plantas ao promover uma comunidade de polinizadores mais diversa funcionalmente.

4.5. A influência da heterogeneidade da paisagem nas redes de visitação floral de insetos e plantas na Mata Atlântica

A escala de efeito da heterogeneidade da paisagem nas métricas de redes de visitação floral foi bastante variável e dependente da métrica analisada (Apêndice 8). Com rela o   assimetria da rede, as melhores escalas de efeito foram 500 e 700 m, enquanto a do aninhamento da rede, medido pelo NODF ponderado, foi de 300 m. Já a escala de efeito da conectância foi de 500 m, contrastando com as da métrica de especializa o da rede (H^2), cujas escalas de efeito foram 300 m e 700 m.

Os resultados relativos aos melhores modelos lineares para cada métrica de rede estão esquematizados na TABELA 3. A partir dos resultados encontrados, podemos afirmar que as redes de visitação floral inseto-planta na região da Mata Atlântica são influenciadas por fatores da paisagem em escalas mais locais e escalas mais amplas e nós optamos pela discussão individual de cada métrica por conta dessa varia o observada nas escalas de efeito.

Tabela 3 - Resultados da sele o de melhores modelos lineares generalizados para cada variável resposta relacionada às redes de visitação floral inseto-planta.

Métrica de rede	Valores AICc	Melhores modelos	wi	Coefficientes	ANDEVA (Δ)
Assimetria	-44.722	assimetria ~ 1 + shdi 500 m + densidade de borda 700 m	0.110	1 = -0.138 Shdi 500 m = -0.321 Borda 700 m = 0.003	0.140 (0.978 - 0.838)
	-44.500	assimetria ~ 1 + shdi 500 m + contiguidade 700m	0.100	1 = 5.314 Shdi 500 m = -0.322 Contiguidade 700 m = -5.502	0.136 (0.978 - 0.842)
	-43.190	assimetria ~ 1 + shdi 500 m + densidade de borda 700 m + contiguidade 700 m	0.051	1 = -50.915 Shdi 500 m = -0.275 Borda 700 m = 0.0317 Contiguidade 700 m = 51.236	0.158 (0.978 - 0.820)
	-42.634	assimetria ~ 1 + shdi 500 m + riqueza 500 m + densidade de borda 700 m	0.040	1 = -0.110 Shdi 500 m = -0.295 Borda 700 m = 0.003 Riqueza 500 m = -0.015	0.148 (0.978 - 0.830)

Continua

Continuação

Métrica de rede	Valores AICc	Melhores modelos	wi	Coeficientes	ANDEVA (Δ)
	-42.515	assimetria ~ 1 + shdi 500 m + densidade de borda 700 m + contraste 700 m	0.036	1 = -0.360 Shdi 500 m = -0.294 Borda 700 m = 0.003 Contraste 700 m = 0.003	0.146 (0.978 - 0.832)
NODF ponderado	320.436	NODF ponderado ~ 1 + contiguidade 300 m + shdi 300 m	0.075	1 = 397.550 Contiguidade 300 m = -406.101 Shdi 300 m = -17.817	970.165 (3318.931 - 2348.766)
	320.624	NODF ponderado ~ 1 + contágio 500 m + contiguidade 300 m	0.068	1 = 257.415 Contágio 500 m = 0.562 Contiguidade 300 m = 309.236	960.520 (3318.931 - 2358.411)
	320.900	NODF ponderado ~ 1 + contágio 500 m + contiguidade 300 m + shdi 300 m	0.060	1 = 386.791 Contágio 500 m = 0.383 Contiguidade 300 m = -424.614 Shdi 300 m = -12.498	1073.094 (3318.931 - 2245.837)
	320.950	NODF ponderado ~ 1 + contágio 500m + densidade de borda 300 m	0.060	1 = -44.383 Contágio 500 m = 0.550 Borda 300 m = 0.173	943.833 (3318.931 - 2375.098)
	321.100	NODF ponderado ~ 1 + densidade de borda 300 m + shdi 300 m	0.054	1 = -0.185 Borda 300 m = 0.221 Shdi 300 m = -16.665	936.340 (3318.931 - 2382.591)
Conectância ponderada	-104.685	Conectância ponderada ~ 1 + riqueza 500 m	0.080	1 = 0.047 Riqueza 500 m = 0.014	0.016 (0.255 - 0.239)
	-104.126	Conectância ponderada ~ 1	0.060	1 = 0.138	0.000 (0.255 - 0.255)
	-103.952	Conectância ponderada ~ 1 + contraste 300 m + riqueza 500 m	0.055	1 = -0.135 Contraste 300 m = 0.003 Riqueza 500 m = 0.013	0.024 (0.255 - 0.231)
	-103.861	Conectância ponderada ~ 1 + contraste 300 m	0.053	1 = -0.075 Contraste 300 m = 0.003	0.011 (0.255 - 0.244)
	-103.607	Conectância ponderada ~ 1 + contiguidade 500 m	0.046	1 = 0.850 Contiguidade 500 m = -0.771	0.010 (0.255 - 0.245)
H2'	-20.481	H2' ~ 1 + contágio 700 m + contiguidade 300 m + densidade de borda 500 m	0.136	1 = -100.121 Contágio 700 m = -0.013 Contiguidade 300 m = 103.177 Borda 500 m = 0.055	0.490 (1.820 - 1.330)

Métrica de rede	Valores AICc	Melhores modelos	wi	Coeficientes	Conclusão
					ANDEVA (Δ)
	-19.230	H2' ~ 1 + contiguidade 500 m + densidade de borda 500 m + shdi 1000 m	0.083	1 = -115.925 Contiguidade 500 m = 117.861 Borda 500 m = 0.064 Shdi 1000 m = 0.385	0.461 (1.820 - 1.359)
	-18.477	H2' ~ 1 + contiguidade 300 m + contágio 700 m	0.070	1 = -3.080 Contiguidade 300 m = 4.810 Contágio 700 m = -0.013	0.373 (1.820 - 1.447)
	-18.227	H2' ~ 1 + contágio 700 m + densidade de borda 500 m	0.060	1 = 1.652 Contágio 700 m = -0.013 Borda 500 m = -0.003	0.362 (1.820 - 1.458)
	-18.195	H2' ~ 1 + contágio 700 m + contiguidade 300 m + densidade de borda 500 m + shdi 1000 m	0.054	1 = -109.007 Contágio 700 m = -0.009 Contiguidade 300 m = 111.677 Borda 500 m = 0.060 Shdi 1000 m = 0.180	0.513 (1.820 - 1.307)

Fonte: Elaborado pela autora deste trabalho.

4.5.1. Assimetria

A assimetria da rede está relacionada com a quantidade de organismos especialistas interagindo com indivíduos generalistas, bem como a intensidade de dependência dessa interação. Pensando nas redes de visitação floral, a assimetria da rede mede quão assimétrica é a interação entre insetos especialistas e plantas generalistas (ou vice-versa) com relação à quantidade de pares que cada um possui. Se o inseto só interage com uma determinada planta que, por sua vez, interage com muitos outros insetos, maior a assimetria da interação quando comparada com um inseto que interage apenas com uma planta que, por sua vez, interage apenas com aquele inseto. Quando analisamos toda a rede, levamos em conta a assimetria de todas as interações nela estabelecidas.

Neste trabalho, a assimetria das redes de visitação floral foi influenciada pela heterogeneidade da paisagem no que diz respeito à diversidade de composição, medida pelo SHDI e pela riqueza, cujos efeitos foram negativos. Esse resultado se relaciona, possivelmente, com a mudança da especialização da dieta de alguns insetos, em que especialistas em interagir com determinadas espécies de plantas se tornaram generalistas ou menos especialistas na rede em paisagens com maior diversidade de plantas (BURKLE; KNIGHT, 2012; FERREIRA et al., 2020).

Tal resposta ao aumento da diversidade de plantas se relaciona com maior disponibilidade e variedade de recursos florais utilizados por insetos, que encontraram em outras plantas os recursos necessários disponíveis em poucas espécies nos locais com baixa diversidade em que estavam anteriormente (WINFREE et al., 2007). Assim, o aumento da diversidade de ambientes altera a composição da comunidade de plantas e de insetos visitantes florais porque promove uma maior diversidade, disponibilidade e complementaridade dos recursos florais e, com isso, os insetos conseguem encontrar os recursos que necessitam em várias espécies de plantas não disponíveis para eles em regiões com pouca diversidade de ambientes. Tal cenário aumenta a generalização de suas relações e diminui a assimetria da rede porque os recursos estão mais bem distribuídos entre os nichos funcionais dos insetos (FRÜND et al., 2013).

Essa mesma resposta, no entanto, não foi observada nas relações entre densidade de borda e assimetria, contraste de borda e assimetria e contiguidade e assimetria. Nesses casos ocorrem o efeito contrário, em que a quantidade e o contraste de bordas na paisagem, junto à contiguidade de manchas na paisagem aumentam a assimetria das redes. A conexão entre manchas pode facilitar o encontro entre os insetos e as plantas pelas quais possuem preferência e podem, dessa forma, manter uma relação mais especializada. Já a relação entre aumento de ambientes de bordas e aumento da assimetria é explicada pela mudança na composição das comunidades presentes nas bordas dos fragmentos. Como dito anteriormente, ambientes de bordas possuem condições microclimáticas particulares que diferem das áreas principais dos fragmentos adjacentes a eles (MURCIA, 1995).

Essas condições favorecem determinados tipos funcionais de insetos e plantas que possuem adaptações necessárias para viverem nesses locais. Essas características podem restringir as interações de visitação floral estabelecidas ali. O formato, o tamanho e o comprimento da flor podem restringir quais insetos visitam aquela planta (RECH, 2004; VAN DER PIJL, 1960; VAN DER PIJL, 1961). Por exemplo, flores grandes e com formato de tubo ficam, geralmente, restritas à visitação por borboletas e mariposas (BAKER, 1961), enquanto flores pequenas e com formato de bandeira ou funil se restringem à visitação por abelhas (ENDRESS, 1994). Essas restrições das plantas impostas nos insetos que as visitam tornam as redes mais assimétricas, uma vez que as plantas se especializam em determinados insetos com

atributos complementares aos de suas flores, mas estes animais continuam sendo generalistas, visitando flores de outras espécies em outros ambientes devido à sua mobilidade.

Com isso, é possível concluir que o aumento da diversidade de tipos de ambientes possui um efeito negativo na assimetria, pois contribui para o aumento da diversidade, da disponibilidade e da complementaridade de recursos florais, tornando os insetos mais generalistas nas suas interações. Por outro lado, o aumento da densidade de borda, do contraste de borda e da contiguidade foram positivos para o aumento da assimetria da rede, pois as características funcionais das plantas presentes nos ambientes de borda tornam as espécies vegetais mais especialistas em suas relações de visitação floral. No entanto, essa especializa o nas rela oes não   correspondida pelos insetos que as visitam, pois estes continuam sendo generalistas e se beneficiam do aumento da contiguidade da paisagem, que promove o acesso a uma maior diversidade de recursos florais por conta da maior conexão entre as manchas da paisagem.

Aqui   possível observar a rela o entre as características funcionais relacionadas   visita o floral e as intera oes de visita o floral estabelecidas entre insetos e plantas. Apesar de a análise das redes ter sido conduzida levando-se em conta apenas a diversidade taxonômica dos indivíduos interagentes, foi necessário se utilizar da abordagem funcional para discutir os resultados obtidos sobre a rela o entre heterogeneidade da paisagem e redes de visita o floral na Mata Atlântica. Esses fatores ressaltam a importância de se conduzir uma análise da biodiversidade que considere outras esferas da diversidade além da taxonômica.

4.5.2. Aninhamento

O aninhamento   uma métrica de rede relacionada   intera o entre especialistas e generalistas, em que um grupo de especialistas interage com um grupo de indivíduos interagentes que estabelece conexões com generalistas (ALMEIDA-NETO et al., 2008; ALMEIDA-NETO; ULRICH, 2011). No caso das redes de visita o floral por insetos analisadas, o aninhamento significa, por exemplo, que um grupo de insetos especialistas visitam as flores de uma espécie de planta que também interage com um grupo de insetos generalistas. Quanto maior esse padrão de conexões, maior

o aninhamento, enquanto o aumento de interações generalista-generalista ou especialista-especialista reduz o aninhamento.

Essa métrica de rede foi afetada negativamente pela diversidade de ambientes na paisagem, medida pelo SHDI, e pela contiguidade dos elementos da paisagem, relacionada à conectividade e ao tamanho dos fragmentos. O efeito oposto foi observado para o aumento do contágio da paisagem, que influenciou positivamente o aninhamento das redes analisadas. Considerando-se esses parâmetros, é possível concluir que os insetos se beneficiam dos ambientes encontrados em uma mesma localidade, apesar das paisagens oferecerem diversos tipos de ambientes com maior riqueza e disponibilidade de recursos e a continuidade entre as manchas facilitar o acesso aos recursos florais complementares.

Esses resultados vão de encontro à escala de efeito observada para insetos e para aninhamento da rede, que é a mesma (300 m). Nesse sentido, se a oferta de recursos florais é suficiente para os insetos de uma mesma localidade, eles não irão se movimentar por longas distâncias para obter os recursos necessários para sua sobrevivência (hipótese da concentração de recursos, EBELIN et al., 2018; ROOT, 1973). Somado a isso, foi observado que ambientes de bordas são positivos para o aninhamento da rede e para a diversidade funcional de insetos, pois apresentam uma composição vegetal diferente das encontradas nos elementos adjacentes à borda. Nesses ambientes, encontram-se plantas mais generalistas, com grandes quantidades de flores e grandes ofertas de recursos, atraindo os insetos visitantes florais para si e aumentando a assimetria e o aninhamento das relações (LIMA et al., 2020; TAKATA, 2017). Esse efeito não se limitou às bordas, atingindo as redes de visitação floral inseto-planta localizadas dentro da área principal do fragmento, onde as coletas ocorreram (*spillover edge effect*, RAND; TYLIANAKIS; TSCHARNTKE, 2006).

Sabendo disso,   possível afirmar que o aninhamento foi negativamente afetado pela contiguidade e pela diversidade de ambientes na paisagem porque os insetos foram atraídos para plantas generalistas e que realizam flora o em massa próximos às localidades onde se estabeleceram. Estes animais se concentram nesses tipos vegetais, visitando outros tipos de plantas em ambientes mais distantes quando a oferta de recursos   muito menor comparada aos consumidores, aumentando a competi o por eles e forçando os insetos a buscarem recursos em plantas de outros

locais. Tais resultados corroboram com àqueles obtidos para assimetria da rede, nos mostrando o papel dos ambientes de bordas na alteração da diversidade e na composição funcional de insetos e plantas em interação e sua influência nas redes de visitação floral dentro e fora das bordas. Os ambientes de borda selecionam insetos e plantas com características funcionais específicas e aumentam a rela o entre especialistas e generalistas porque abriga plantas generalistas com florada em massa, atraindo os insetos e tornando-os mais especializados em suas intera oes.

4.5.3. Conectância

A conectância, entendida como a densidade de intera oes presentes na rede ou como a quantidade de intera oes estabelecidas na rede entre todas as conexões possíveis (BERSIER et al., 2002), foi influenciada positivamente pela riqueza de ambientes e pelo contraste de borda, mas foi negativamente influenciada pela contiguidade da paisagem. As respostas observadas se relacionam, novamente, com o aumento da diversidade, da complementaridade e da disponibilidade de recursos florais promovida pelo aumento de tipos de ambientes na paisagem em uma escala mais local (FAHRIG et al., 2011; STEIN; GERSTNER; KREFT, 2014). Esse aumento da heterogeneidade composicional da paisagem promove o aumento da diversidade funcional de plantas e insetos, rela o observada e discutida neste trabalho. Tal aumento da diversidade desses grupos de organismos acarreta o aumento das intera oes estabelecidas entre eles, evidenciado pelo resultado obtido por meio da rela o entre riqueza de tipos de ambientes, contraste de borda e conectância ponderada da rede.

4.5.4. Especializa o da rede

A especializa o da rede, medida pelo H_2' , corresponde ao grau de especializa o de todas as conexões de uma rede bipartida. Quanto mais especializadas forem as intera oes inseto-planta de uma comunidade, maior a especializa o da rede. Esse  ndice está relacionado com o grau de especializa o da dieta dos insetos e com as características funcionais das flores estudadas, visto que esses fatores influenciam fortemente a intera o entre esses dois grupos de organismos. Como a heterogeneidade da paisagem exerce influência sobre a diversidade funcional de insetos e plantas em intera o de visita o floral, buscou-se

analisar se essa característica da paisagem também influencia as redes de interações estabelecidas entre esses dois grupos de organismos.

A partir dos resultados obtidos, observou-se que o contágio - grau de mistura e distribuição espacial de cada tipo ambiente - afetou negativamente o índice de especialização da rede. No entanto, a contiguidade, a densidade de borda e o SHDI influenciaram positivamente a especialização da rede. Esses resultados estão relacionados às escalas de efeito dos parâmetros da paisagem e à grande influência da disponibilidade e diversidade de recursos florais em escala mais local para os insetos. O aumento do contágio possui um efeito negativo na especialização da rede em escalas mais amplas (700 m). Essa resposta não é acompanhada pelo SHDI que, também em escalas mais amplas (1000 m), promove a especialização da rede. Esses resultados indicam que, além da mistura e da distribuição espacial de cada tipo de ambiente, é necessário que eles estejam em quantidades equilibradas para promover a especialização da rede. Caso contrário, favorecerá a sobrevivência e reprodução de espécies generalistas que apresentam grande resistência às mudanças na paisagem (LIMA et al., 2020; TAKATA, 2017).

No entanto, a contiguidade e a densidade de borda em escalas mais locais favorece a especialização das relações. Novamente, observamos aqui a influência da borda na comunidade de plantas e insetos e em suas interações de visitação floral. Esses resultados indicam que as plantas generalistas e que apresentam bastantes recursos – e que compõem grande parte de nossas amostras, como observado no GRÁFICO 5 - atraem grande parte dos insetos, tornando-os especialistas em interagir apenas com essas poucas espécies generalistas de plantas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram que a maior heterogeneidade da paisagem influencia positivamente a diversidade funcional de insetos e plantas em interações de visitação floral na região da Mata Atlântica. No entanto, essa afirmação s    válida quando as mudanç as entre ambientes em contato são graduais, sem causar alterações bruscas nas condições microclimáticas. Além disso,   necessário que as paisagens possuam alta conectividade funcional e que haja quantidades equilibradas de cada tipo de ambiente, permitindo que os recursos

estejam espacialmente distribuídos e presentes em quantidades suficientes para promover a diversidade funcional dos organismos analisados.

Com isso, é possível afirmar que a conservação da diversidade funcional de insetos e plantas com quem interagem na região da Mata Atlântica é favorecida pela diversidade, conectividade e complementaridade de ambientes. Medidas públicas de conservação local da biodiversidade deveriam considerar, então, a promoção da manutenção da malha de ambientes distintos, desde que ambientes em contato sejam pouco contrastantes um do outro, ocasionando mudanças graduais entre os tipos de ambientes encontrados.

Isso proporcionará facilidade de mobilidade para os insetos entre os ambientes, melhorando a distribuição dos recursos florais na paisagem e, por consequência, aumentará a diversidade funcional das plantas. Essa configuração e composição dos recursos atrairá insetos com diferentes características funcionais e aumentará as chances de polinização de muitas espécies de plantas. Tais processos resultarão em um ciclo de *feedback* positivo, em que o aumento de comunidades vegetais com diferentes características funcionais, proporcionada pela heterogeneidade da paisagem e das condições microclimáticas, aumentará a diversidade de insetos visitantes florais que polinizam diversas plantas, contribuindo para o sucesso reprodutivo da comunidade vegetal.

Tendência semelhante fica evidente quando se analisa a influência da heterogeneidade da paisagem na robustez e estrutura das redes de visitação floral inseto-plantas analisadas. A assimetria, o aninhamento e a especialização da rede foram fortemente afetados pelos ambientes de borda, indicando a ocorrência de *spill over edge effect*, em que as plantas generalistas e com floradas em massa encontradas em bordas atraem os insetos para si por oferecerem grandes quantidades de recursos florais, modificando as redes de visitação floral encontradas dentro da área principal do fragmento. Além disso, a assimetria e o aninhamento foram negativamente afetadas pela heterogeneidade de composição da paisagem, enquanto a conectância e a especialização da rede demonstraram ser positivamente influenciadas por essa mesma variável ambiental, mas em escalas diferentes. As redes se tornaram mais generalistas e simétricas nas relações em uma escala mais local de heterogeneidade composicional da paisagem, mas se tornaram mais especializadas em escalas mais amplas.

Tais resultados indicam que a diversidade de ambientes em níveis mais locais aumenta os tipos de recursos florais, a quantidade e a generalização das relações, mas a diversidade de ambientes em escalas mais amplas especializa as relações. Isso ocorre porque a diversidade de recursos está mais bem distribuída na paisagem, possibilitando que comunidades de plantas e insetos visitantes florais se especializem em suas relações em escalas mais locais, tornando as redes mais robustas e resistentes às extinções secundárias.

Após analisar todos esses resultados, nós propomos que as medidas de conservação da Mata Atlântica sejam focadas em promover a heterogeneidade da paisagem em escalas mais amplas, sempre mantendo quantidades equilibradas dos tipos de ambientes e priorizando ambientes em contato pouco distintos um do outro. Essa organização da paisagem favorece a diversidade funcional de insetos e plantas em interação e torna as redes de visitação floral por insetos mais robustas e resilientes, contribuindo para a manutenção das funções ecossistêmicas presentes nesse bioma. Além disso, é necessário que a conservação da Mata Atlântica seja voltada para os fragmentos maiores desse bioma, enquanto medidas de restauração sejam aplicadas aos pequenos fragmentos de floresta, a fim de combater os efeitos de borda que são intensificados em áreas menores e se espalham em processos que ocorrem na área principal do fragmento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

ACKERMAN, J. D. Specificity and mutual dependency of the orchid-euglossine bee interaction. **Bio. J. Linn. Soc.**, v. 20, p. 301-313, 1983.

ALBRECHT, M. et al. Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1748, p. 4845–4852, 2012.

ALMEIDA-NETO, M. et al. Consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. **Oikos**, v. 117, n. 8, p. 1227–1239, 2008. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2008.16644.x

ALMEIDA-NETO, M.; ULRICH, W. A straightforward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, n. 2, p. 173–178, 2011. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.08.003.

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023)

ALTENA, C.; HEMERIK, L.; DE RUITER, P. C. Food web stability and weighted connectance: the complexity-stability debate revisited. **Theoretical Ecology**, v. 9, n. 1, p. 49–58, 2016. DOI: 10.1007/s12080-015-0291-7.

ARANA, A.; ALMIRANTE, M. F. A importância do corredor ecológico: um estudo sobre parque estadual “morro do diabo” em Teodoro Sampaio-SP, **Geografia**, v. 16, n. 1, 2007.

AVILA JR., R.S. et al. Caracterização dos tipos polínicos encontrados em esfingídeos (Lepidoptera, Sphingidae) em Floresta Atlântica do sudeste do Brasil: utilização de técnicas palinológicas no estudo de interações ecológicas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, p. 415-424, 2010.

BACKER, H.G. The adaptation of flowering plants to crepuscular and nocturnal pollinators. **Quarterly Review of Biology**, v. 36, p. 64-73, 1961.

BASCOMPTE, J. et al. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 100, p. 9383–9387, 2003. DOI: 10.1073/pnas.1633576100

BASCOMPTE, J.; JORDANO, P.; OLESEN, J. M. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. **Science**, v. 1, n. April, p. 3–5, 2006.

BASU, P. et al. Scale dependent drivers of wild bee diversity in tropical heterogeneous agricultural landscapes. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 19, p. 6983–6992, 2016.

BAWA, K. S. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, v.21, n. 1, p. 399–422, 1990. DOI: 1146/annurev.es.21.110190.002151.

BERNASCHINI, M. L.; VALLADARES, G.; SALVO, A. Edge effects on insect–plant food webs: assessing the influence of geographical orientation and microclimatic conditions. **Ecological Entomology**, v. 45, n. 4, p. 806–820, 2020.

BERSIER, L.-F.; BANAŠEK-RICHTER, C.; CATTIN, M.-F. Quantitative Descriptors of Food-Web Matrices, **Ecology**, v. 83, n. 9, p. 2394-2407, 2012.

BIESMEIJER, J. et al. Connectance of Brazilian social bee: food plant networks is influenced by habitat, but not by latitude, altitude or network size. **Biota Neotropica**, v. 5, n. 1, p. 85–93, 2005.

BIESMEIJER, J. C. et al. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, v. 313, n. 5785, p. 351–354, 2006.

BOUGEARD, S., DRAY, S. Supervised Multiblock Analysis in R with the ade4 Package. **Journal of Statistical Software**, v. 86, n. 1, p. 1-17, 2018. DOI: 10.18637/jss.v086.i01.

BOSCOLO, D. et al. Positive responses of flower visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 1, p. 18–24, 2017. DOI: 10.1016/j.pecon.2017.03.002.

BREEZE, T. D. et al. Economic Measures of Pollination Services: Shortcomings and Future Directions. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 31, n. 12, p. 927–939, 2016. DOI: 10.1016/j.tree.2016.09.002.

BROSI, B.J, ARMSWORTH, P.R, DAILY, G.C. Optimal design of agricultural landscapes for pollination services. **Conserv. Lett.**, v. 1, p. 27–36, 2008. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2008.00004.x

BRUNBJERG, A. K. et al. Multi-taxon inventory reveals highly consistent biodiversity responses to ecospace variation. **Oikos**, v. 129, n. 9, p. 1381–1392, 2020.

BLÜTHGEN, N. et al., What do interaction network metrics tell us about specialization and biological traits? **Ecology**, v. 89, n. 12, p. 3387–3399, 2008. DOI: 10.1890/07-2121.1.

BURKLE L.A.; KNIGHT, T.M. Shifts in pollinator composition and behavior cause slow interaction accumulation with area in plant–pollinator networks. **Ecology**, v. 93, p. 2329–2335, 2012. DOI: 10.1890/12-0367.1.

BURKLE, L.A.; MARTIN, J. C.; KNIGHT, T. M. Plant-Pollinator Interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. **Science**, v. 339, p. 1611–1615, 2013. DOI: 10.1126/science.1232728.

CADOTTE, M. W. The new diversity: Management gains through insights into the functional diversity of communities. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 5, p. 1067–1069, 2011.

CALCAGNO, V.; DE MAZANCOURT, C. glmulti: an R package for easy automated model selection with (generalized) linear models. **J. Stat. Software**, v.34, p.1–29, 2010. DOI: 10.18637/jss.v034.i12

CHAMBERLAIN, S. A. et al. Traits and phylogenetic history contribute to network structure across Canadian plant–pollinator communities. **Oecologia**, v. 176, n. 2, p. 545–556, 2014.

CHESEL, D., DUFOUR, A., THIOULOUSE, J. The ade4 Package - I: One-Table Methods. **R News**, v. 4, n. 1, p. 5-10, 2004. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>>.

COUTINHO, J. G. E. et al. Heterogeneous agroecosystems support high diversity and abundance of trap-nesting bees and wasps among tropical crops. **Biotropica**, n. April, p. 1–14, 2020.

COUTINHO, J. G. E. et al. Landscape Structure Is a Major Driver of Bee Functional Diversity in Crops. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, n. March, p. 1–13, 2021.

CRUZ, C. M.; VICENS, R. S.; ARAÚJO, M. **Levantamento dos Remanescentes Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Ministério do Meio Ambiente, 2004.

- DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646–655, 2001.
- DORMANN, C. F.; FRUEND, J.; BLUETHGEN, N.; GRUBER, B. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. **The Open Ecology Journal**, n. 2, p. 7–24, 2009.
- DORMANN, C. F.; GRUBER, B.; FRUEND, J. Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. **R news**, v. 8, n. 2, p. 8–11, 2008.
- DRAY, S.; DUFOUR, A-B. The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software*, v. 22, n. 4, p. 1–20, 2007. DOI: 10.18637/jss.v022.i04.
- EBELING, A. et al. How does plant richness affect pollinator richness and temporal stability of flower visits? **Oikos**, v. 117, n. 12, p. 1808–1815, 2008. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2008.16819.x.
- ENDRESS, P.K. **Diversity and evolutionary biology of tropical flowers**. Oxford, Pergamon Press. Furness, 511 p., 1994.
- EWERS, R. M.; BANKS-LEITE, C. Fragmentation Impairs the Microclimate Buffering Effect of Tropical Forests. **PLoS ONE**, v. 8, n. 3, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0058093.
- FAEGRI, K.; VAN DER PIJL, L. (eds) **The principles of pollination ecology**. Pergamon Press, Oxford, 1979.
- FAHRIG, L. et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. **Ecology Letters**, v. 14, n. 2, p. 101–112, 2011.
- FERREIRA, P. A. et al. Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. **Landscape Ecology**, v. 30, n. 10, p. 2067–2078, 2015.
- FERREIRA, P. A.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. What do we know about the effects of landscape changes on plant-pollinator interaction networks? **Ecological Indicators**, v. 31, p. 35–40, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.07.025.
- FERREIRA, P. A. et al. Forest and connectivity loss simplify tropical pollination networks. **Oecologia**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1007/s00442-019-04579-7.
- FONTAINE, C. et al. Functional diversity of plant-pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. **PLoS Biology**, v. 4, n. 1, p. 0129–0135, 2006.
- FRUND, J. et al. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. **Ecology**, v. 94, n. 9, p. 2042–2054, 2013.
- GÁMEZ-VIRUÉS, S. et al. Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. **Nature Communications**, v. 6, 2015.

GARCÍA-MARTÍNEZ, M. et al. Taxonomic, species and functional group diversity of ants in a tropical anthropogenic landscape. **Tropical Conservation Science**, v. 8, n. 4, p. 1017–1032, 2015.

GOWER, A. J. C. A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. **International Biometric Society**, v. 27, n. 4, p. 857–871, 1971.

GUIMARÃES, A. L. O desafio de Conservar e Recuperar a Mata Atlântica: Construindo Corredores de Biodiversidade. **Caminhos da Sustentabilidade no Brasil**, p. 247, 2005.

HAMM, M.; DROSSEL, B. Habitat heterogeneity hypothesis and edge effects in model metacommunities. **Journal of Theoretical Biology**, v. 426, p. 40–48, 2017. DOI: 10.1016/j.jtbi.2017.05.022.

HATFIELD, J. H. et al. Mediation of area and edge effects in forest fragments by adjacent land use. **Conservation Biology**, v. 34, n. 2, p. 395–404, 2019. DOI: 10.1111/cobi.13390.

HOLZSCHUH, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? **Journal of Animal Ecology**, p. 491–500, 2010.

IBGE. **Mapas temáticos**. 2015. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

KAWARASAKI, S.; HORI, Y. Flowering Phenology of Understory Herbaceous Species in a Cool Temperate Deciduous Forest in Ogawa Forest Reserve, Central Japan. **Journal of Plant Research**, v. 114, 2001.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W.; WASER, N. M. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, p. 83–112, 1998.

KENNEDY, C. M. et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. **Ecology Letters**, v. 16, n. 5, p. 584–599, 2013. DOI: 10.1111/ele.12082.

KLEIN, A. M. et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303–313, 2007.

KLEIN, A. M. et al. Advances in pollination ecology from tropical plantation crops. **Ecology**, v. 89, n. 4, p. 935–943, 2008.

KREMEN, C. et al. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology Letters**, v. 10, n. 4, p. 299–314, 2007.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, 2010.

LALIBERTÉ, E., LEGENDRE, P., SHIPLEY, B. **FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology**. R package, version 1.0-12, 2014.

LAURETO, L. M. O.; CIANCIARUSO, M. V.; SAMIA, D. S. M. Functional diversity: An overview of its history and applicability. **Natureza e Conservação**, v. 13, n. 2, p. 112–116, 2015. DOI: 10.1016/j.ncon.2015.11.001.

LICHTENBERG, E. M.; MENDENHALL, C. D.; BROSI, B. Foraging traits modulate stingless bee community disassembly under forest loss. **Journal of Animal Ecology**, v. 86, n. 6, p. 1404–1416, 2017.

LIMA, K. B. et al. Does landscape context affect pollination-related functional diversity and richness of understory flowers in forest fragments of Atlantic Rainforest in southeastern Brazil? **Ecological Processes**, v. 9, n. 1, 2020.

MACHADO, T.M. **Paisagens agrícolas funcionais: Modelagem como ferramenta para a conservação de polinizadores e bem-estar social**. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2019.

MACHADO, I.C., LOPES, A.V. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Ann. Bot.** v. 94, p. 365–376, 2004. DOI: 10.1093/aob/mch152.

MACHADO, T.M. et al. How landscape composition affects pollen collection by stingless bees? **Landscape Ecology**, v. 35, p. 747-759, 2020. DOI: 10.1007/s10980-020-00977-y.

MATTHIESSEN, B.; MIELKE, E.; SOMMER, U. Dispersal decreases diversity in heterogeneous metacommunities by enhancing regional competition. **Ecology**, v. 91, n. 7, p. 2022–2033, 2010.

MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S.A., ENE, E., **FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst, 2012. Disponível em <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>.

METZGER, J. P. et al. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1166–1177, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.01.033.

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. 2. ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007.

MIRANDA, M. L. De. **Diversidade de Oomycota do Parque Estadual da Serra da Cantareira**. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, 2007.

MOREIRA, E.F. et al. Ecological Networks in Changing Tropics. In: DÁTILLO, Wesley; RICO-GRAY, Victor (org.). **Ecological Networks in the Tropics**. Cham: Springer, 2018. p. 155–169. DOI: 10.1007/978-3-319-68228-0_6.

MORELLATO, L.P.C.; HADDAD, C.F.B. Introduction: the Brazilian Atlantic forest. **Biotropica**, v. 32, p. 786–792, 2000. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2000.tb00618.x.

MORETTI, M. et al. Handbook of protocols for standardized measurement of terrestrial invertebrate functional traits. **Functional Ecology**, v. 31, n. 3, p. 558–567, 2017.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58–62, 1995.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v; 403, p. 853-858, 2000.

NERY, L. S. et al. Bee diversity responses to forest and open areas in heterogeneous Atlantic Forest. **Sociobiology**, v. 65, n. 4, p. 686–695, 2018.

NOBREGA, B. R. **Paisagem e redes de polinização: Como manter a polinização na Mata Atlântica?** Tese (Doutorado em Entomologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2020.

NOBREGA, B.R., BOSCOLO, D. Do bipartite binary antagonistic and mutualistic networks have different responses to the taxonomic resolution of nodes? **Ecological Entomology**, 2020.

OGILVIE, J. E.; FORREST, J. R. Interactions between bee foraging and floral resource phenology shape bee populations and communities. **Current Opinion in Insect Science**, v. 21, p. 75–82, 2017. DOI: 10.1016/j.cois.2017.05.015

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, n. 3, p. 321–326, 2011.

PARADIS, E., SCHLIEP, K. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. **Bioinformatics**, v. 35, p. 526-528, 2019.

PENG, R. K.; FLETCHER, C. R.; SUTTON, S. L. Bio-meteorology The effect of microclimate on flying dipterans. **Int. J. Biometeorol.**, v. 36, 1992.

PEROVIĆ, D. et al. Configurational landscape heterogeneity shapes functional community composition of grassland butterflies. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 2, p. 505–513, 2015.

PETCHEY, O. L. et al. How Do Different Measures of Functional Diversity Perform? **Ecology**, v. 85, n. 3, p. 847–857, 2004.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: Back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 741–758, 2006.

POLATTO, L. P.; CHAUD-NETTO, J.; ALVES-JUNIOR, V. V. Influence of Abiotic Factors and Floral Resource Availability on Daily Foraging Activity of Bees. **Journal Of Insect Behavior**. New York: Springer/plenum Publishers, v. 27, n. 5, p. 593-612, 2014.

POTTS, S. G. et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

POTTS, S. G. et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, v. 540, n. 7632, p. 220–229, 2016.

QGIS Development Team. **QGIS geographic information system. Open source. Geospatial Foundation Project**, 2021. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing, Austria, 2021. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

RAND, T.A., TYLIANAKIS, J.M., TSCHARNTKE, T. Spillover edge effects: the dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. **Ecology Letters**, v. 9, p. 603-614, 2006. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2006.00911.x.

RECH, A.R. et al. **Biologia da Polinização**. Editora Projeto Cultural, Rio de Janeiro, 2014.

REDON, M. et al. Effects of increasing landscape heterogeneity on local plant species richness: how much is enough? **Landscape Ecology**, v. 29, n. 5, p. 773–787, 2014.

RIBEIRO, M.C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, p. 1141–1153, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.02.021.

RICKETTS, T. H. et al. Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns? **Ecology Letters**, v. 11., n. 5, p. 499–515, 2008. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x.

ROOT, R. B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats-fauna of collards (Brassicaoleracea). **Ecol. Monogr.** v. 43, p. 95-120, 1973.

RYSER, R. et al. Landscape heterogeneity buffers biodiversity of simulated meta-food-webs under global change through rescue and drainage effects. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021. DOI: 10.1038/s41467-021-24877-0

SÃO PAULO. Governo do Estado, Secretaria Municipal de Meio Ambiente - **Resolução SMA N8 7 e SMA N8 32 de 18 de janeiro de 2017**, 2017.

SCHAUBERGER, P., WALKER, A. **openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files**. R package version 4.2.4, 2021. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=openxlsx>>

SCHWEIGER, O. et al. Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural landscapes across organizational levels and spatial scales. **Journal of Applied Ecology**, v. 42, n. 6, p. 1129–1139, 2005.

SKELSEY, P.; WITH, K. A.; GARRETT, K. A. Why dispersal should be maximized at intermediate scales of heterogeneity. **Theoretical Ecology**, v. 6, n. 2, p. 203–211, 2013.

SOARES, et al. Forest cover and non-forest landscape heterogeneity modulate pollination of tropical understory plants. **Landscape Ecology**, v. 37, n. 2, p. 393–409, 2022. DOI: 10.1007/s10980-021-01356-x.

STECKEL, J. et al. Landscape composition and configuration differently affect trap-nesting bees, wasps and their antagonists. **Biological Conservation**, v. 172, p. 56–64, 2014. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.02.015.

STEIN, A.; GERSTNER, K.; KREFT, H. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. **Ecology Letters**, v. 17, n. 7, p. 866–880, 2014.

STEFFAN-DEWENTER, I. et al. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. **Ecology**, v. 83, p.1421–1432, 2002.

SYDENHAM, M. A. K. et al. The effects of habitat management on the species, phylogenetic and functional diversity of bees are modified by the environmental context. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 4, p. 961–973, 2016.

TAKATA, J.T. **Abelhas visitantes florais da Mata Atlântica: efeitos de fatores locais e de paisagem**. Trabalho de conclusão de curso em Ciências Biológicas, Universidade de São Paulo, 2017.

TAKI, H.; KEVAN, P.G. Does habitat loss affect the communities of plants and insects equally in plant—pollinator interactions? Preliminary findings. **Biodivers. Conserv.**, v. 16, p. 3147–3161, 2007. DOI: 10.1007/s10531-007-9168-4.

TAKI, H.; KEVAN, P.G.; ASCHER, J.S. Landscape effects of forest loss in a pollination system. **Landsc. Ecol.**, v. 22, p. 1575–1587, 2007. DOI: 10.1007/s10980-007-9153-z.

THIOULOUSE, J. et al. **Multivariate Analysis of Ecological Data with ade4**. Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-1-4939-8850-1.

TILMAN, D. Resource Competition between Plankton Algae: An Experimental and Theoretical Approach. **Ecological Society of America**, v. 58, n. 2, p. 338–348, 2014.

TILMAN, D. Functional Diversity. *Encyclopedia of Biodiversity*, v. 3, 2001.

VAN DER PIJL, L. Ecological aspects of flower evolution. I. Phyletic evolution. **Evolution**, v. 14, p. 403–416, 1960, DOI: 10.1111/j.1558-5646.1960.tb03108.x.

VAN DER PIJL, L. Ecological aspects of flower evolution. II. Zoophilous flower classes. **Evolution**, v. 15, p. 44–59, 1961. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1960.tb03108.x.

VELOSO H.P.; FILHO, A.L.R.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1991.

VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. **Ecology**, v. 89, n. 8, p. 2290–2301, 2008.

WILLIAMS, N. M.; KREMEN, C. Resource Distribution among Habitats Determine Solitary Bee Offspring Production in a Mosaic Landscape. **Ecological Applications**, v. 17, p. 910–921, 2007. DOI: 10.1890/06-0269.

WILLIAMS, N. M.; REGETZ, J.; KREMEN, C. Landscape-scale resources promote colony growth but not reproductive performance of bumble bees. **Ecology**, v. 93, n. 5, 2012.

WILLIAMS, N.M.; WINFREE, R. Local habitat characteristics but not landscape urbanization drive pollinator visitation and native plant pollination in forest remnants. **Biol. Conserv.**, v.160, p.10–18, 2013. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.12. 035.

WINFREE, R. et al. Species abundance, not diet breadth, drives the persistence of the most linked pollinators as plant-pollinator networks disassemble. **American Naturalist**, v. 183, n. 5, p. 600–611, 2014. DOI: 10.1086/675716.

WINSA, M. et al. Sustained functional composition of pollinators in restored pastures despite slow functional restoration of plants. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 11, p. 3836–3846, 2017.

WU, J. et al. Multiscale Analysis of Landscape Heterogeneity: Scale Variance and Pattern Metrics. **Geographic Information Sciences**, v.6, n. 1, 2000.

ZAÚ, A. S.. Fragmentação Da Mata Atlântica: Aspectos Teóricos. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 160–170, 1998.

Apêndice 3

Quadro com as características funcionais de plantas para cada espécie analisada. Todos os dados de características funcionais foram retirados de Lima e colaboradores (2020), Nobrega (2020), RCPol (2022) e Reflora (2022). Para a nomenclatura de posição da flor, consultamos Kok & Biffin (2010). Para cor da flor, utilizamos a nomenclatura proposta por Machado & Lopes (2004) e Rech et al. (2014). Por fim, consultamos Faegri & Pijl (1979) para tipo da flor. Dados de posição da flor foram retirados da descrição das plantas e exsicatas presentes no Reflora (Reflora, 2022), além dos dados da planilha de campo. Para cor da flor foram utilizados dados do RCPol (RCPol, 2022) e dos dados da planilha de campo. Os dados de 84 espécies sobre tamanho, cor e tipo floral foram pesquisados pela Karoline Batista de Lima, enquanto os dados de 49 espécies foram pesquisados pela Bárbara Nobrega Rodrigues. Cerca de 14 espécies demandaram busca por suas características funcionais em artigos específicos e consulta com especialistas.

Família da planta	Espécie da planta	Tamanho da flor	Formato da flor	Cor da flor	Comprimento da flor
Asteraceae	<i>Adenostemma brasilianum</i>	Pequeno	Tube	Branca	Pequeno
Xanthorrhoeaceae	<i>Agave</i> sp.1	Grande	Canal	Verde	Muito grande
Asteraceae	<i>Ageratum conyzoides</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Amaranthaceae	<i>Alternanthera brasiliana</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Amaranthaceae	<i>Amaranthus deflexus</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Apocynaceae	<i>Asclepias curassavica</i>	Médio	Prato	Vermelha	Pequeno
Asteraceae	<i>Baccharis anomala</i>	Inconspícuo	Escova	Branca	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Baccharis cognata</i>	Pequeno	Escova	Amarela	Pequeno
Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Inconspícuo	Escova	Verde	Pequeno
Asteraceae	<i>Baccharis punctulata</i>	Inconspícuo	Escova	Verde	Pequeno
Asteraceae	<i>Baccharis trinervis</i>	Inconspícuo	Escova	Verde	Pequeno
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	Pequeno	Prato	Branca	Inconspícuo
Rubiaceae	<i>Borreria</i> sp.1	Inconspícuo	Funil	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Borreria</i> sp.2	Inconspícuo	Funil	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Borreria</i> sp.3	Inconspícuo	Funil	Branca	Pequeno
Asteraceae	<i>Chaptalia</i> sp.1	Muito grande	Prato	Branca	Muito grande
Asteraceae	<i>Chromolaena maximiliani</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Chromolaena</i> sp.	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Chrysolaena cognata</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Cirsium vulgare</i>	Inconspícuo	Escova	Rosa	Médio
Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i>	Pequeno	Bandeira	Violeta	Inconspícuo
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i>	Muito grande	Bandeira	Violeta	Inconspícuo
Costaceae	<i>Costus spiralis</i>	Médio	Tube	Vermelha	Muito grande

Continua

Continuação

Família da planta	Espécie da planta	Tamanho da flor	Formato da flor	Cor da flor	Comprimento da flor
Euphorbiaceae	<i>Croton lundianus</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Marantaceae	<i>Ctenanthe compressa</i>	Inconspícuo	Tube	Branca	Pequeno
Lythraceae	<i>Cuphea racemosa</i>	Inconspícuo	Tube	Violeta	Pequeno
Cyperaceae	<i>Cyperus luzalae</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Desmodium adscendens</i>	Pequeno	Bandeira	Violeta	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Desmodium affine</i>	Pequeno	Bandeira	Branca	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Desmodium incanum</i>	Pequeno	Bandeira	Violeta	Pequeno
Fabaceae	<i>Desmodium uncinatum</i>	Pequeno	Bandeira	Violeta	Pequeno
Commelinaceae	<i>Dichorisandra pubescens</i>	Médio	Bandeira	Violeta	Médio
Commelinaceae	<i>Dichorisandra thyrsoiflora</i>	Pequeno	Prato	Violeta	Pequeno
Poaceae	<i>Digitaria horizontalis</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Elephantopus mollis</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Poaceae	<i>Eleusine indica</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Emilia fosbergii</i>	Inconspícuo	Escova	Rosa	Médio
Asteraceae	<i>Emilia sonchifolia</i>	Inconspícuo	Escova	Amarela	Médio
Asteraceae	<i>Erechtites</i> sp.1	Inconspícuo	Escova	Violeta	Médio
Asteraceae	<i>Erechtites valerianifolius</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Médio
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Galinsoga parviflora</i>	Inconspícuo	Prato	Branca	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Grazielia intermedia</i>	Inconspícuo	Escova	Branca	Pequeno
Zingiberaceae	<i>Hedychium gardnerianum</i>	Muito grande	Tube	Rosa	Médio
Boraginaceae	<i>Heliotropium</i> sp.	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Malvaceae	<i>Hibiscus Rosa-sinensis</i>	Muito grande	Prato	Vermelha	Médio
Hydrangeaceae	<i>Hydrangea macrophylla</i>	Muito grande	Prato	Violeta	Inconspícuo
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i>	Médio	Prato	Amarela	Inconspícuo
Lamiaceae	<i>Hyptis radicans</i>	Inconspícuo	Bandeira	Amarela	Inconspícuo
Balsaminaceae	<i>Impatiens walleriana</i>	Muito grande	Tube	Rosa	Grande
Convolvulaceae	<i>Ipomoea cairica</i>	Médio	Funil	Violeta	Muito grande
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i> sp.1	Médio	Funil	Violeta	Muito grande
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i> sp.3	Médio	Funil	Violeta	Muito grande
Asteraceae	<i>Jaegeria hirta</i>	Pequeno	Prato	Amarela	Inconspícuo
Acanthaceae	<i>Justicia</i> sp.3	Pequeno	Tube	Rosa	Muito grande
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	Pequeno	Tube	Branca	Pequeno

Continuação

Família da planta	Espécie da planta	Tamanho da flor	Formato da flor	Cor da flor	Comprimento da flor
Verbenaceae	<i>Lantana</i> sp.1	Pequeno	Tubo	Branca	Pequeno
Verbenaceae	<i>Lantana trifolia</i>	Pequeno	Tubo	Rosa	Pequeno
Melastomataceae	<i>Leandra amplexicaulis</i>	Pequeno	Funil	Branca	Inconspícuo
Melastomataceae	<i>Leandra melastomoides</i>	Pequeno	Funil	Branca	Inconspícuo
Melastomataceae	<i>Leandra sericea</i>	Pequeno	Funil	Branca	Pequeno
Melastomataceae	<i>Leandra variabilis</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Lamiaceae	<i>Leonurus japonicus</i>	Inconspícuo	Canal	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Lepidaploa cotoneaster</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Liliaceae	<i>Lilium</i> sp.	Muito grande	Prato	Laranja	Muito grande
Verbenaceae	<i>Lippia</i> sp.1	Médio	Tubo	Branca	Pequeno
Onagraceae	<i>Ludwigia elegans</i>	Muito grande	Prato	Amarela	Inconspícuo
Onagraceae	<i>Ludwigia sericea</i>	Muito grande	Prato	Amarela	Pequeno
Fabaceae	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Médio	Bandeira	Violeta	Médio
Rubiaceae	<i>Manettia gracillis</i>	Pequeno	Tubo	Vermelha	Grande
Lamiaceae	<i>Marsypianthes chamaedrys</i>	Inconspícuo	Bandeira	Violeta	Pequeno
Lamiaceae	<i>Mesosphaerum suaveolens</i>	Inconspícuo	Bandeira	Violeta	Pequeno
Melastomataceae	<i>Miconia valtheri</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Mimosa daleoides</i>	Inconspícuo	Escova	Amarela	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Mimosa debilis</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Inconspícuo
Fabaceae	<i>Mimosa ramosissima</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Moquiniastrium polymorphum</i>	Inconspícuo	Escova	Amarela	Pequeno
Musaceae	<i>Musa</i> sp.	Muito grande	Tubo	Verde	Muito grande
Iridaceae	<i>Neomarica caerulea</i>	Muito grande	Prato	Branca	Grande
Poaceae	<i>Olyra glaberrima</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Pequeno
Asteraceae	<i>Orthopappus angustifolius</i>	Inconspícuo	Escova	Branca	Pequeno
Oxalidaceae	<i>Oxalis latifolia</i>	Médio	Funil	Rosa	Médio
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp.	Médio	Funil	Rosa	Médio
Rubiaceae	<i>Palicourea forsteronioides</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Rubiaceae	<i>Palicourea marcgravii</i>	Pequeno	Tubo	Violeta	Grande
Poaceae	<i>Paspalum mandiocanum</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Poaceae	<i>Paspalum notatum</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Malvaceae	<i>Pavonia communis</i>	Muito grande	Prato	Amarela	Pequeno
Malpighiaceae	<i>Peixotoa parviflora</i>	Muito grande	Prato	Amarela	Pequeno

Continuação

Família da planta	Espécie da planta	Tamanho da flor	Formato da flor	Cor da flor	Comprimento da flor
Piperaceae	<i>Peperomia</i> sp.	Muito grande	Escova	Verde	Inconspícuo
Piperaceae	<i>Piper aduncum</i>	Muito grande	Escova	Verde	Inconspícuo
Piperaceae	<i>Piper amalago</i>	Muito grande	Escova	Verde	Inconspícuo
Piperaceae	<i>Piper gaudichaudianum</i>	Muito grande	Escova	Verde	Inconspícuo
Piperaceae	<i>Piper richardiifolium</i>	Muito grande	Escova	Verde	Inconspícuo
Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	Muito grande	Escova	Verde	Inconspícuo
Melastomataceae	<i>Pleroma heteromallum</i>	Muito grande	Prato	Violeta	Inconspícuo
Polygalaceae	<i>Polygalaceae</i> sp.1	Pequeno	Bandeira	Branca	Pequeno
Polygalaceae	<i>Polygalaceae</i> sp.3	Pequeno	Bandeira	Branca	Pequeno
Violaceae	<i>Pombalia atropurpurea</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Praxelis diffusa</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Rubiaceae	<i>Psychotria hoffmannseggiana</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Branca	Inconspícuo
Rubiaceae	<i>Psychotria leiocarpa</i>	Pequeno	Tube	Branca	Médio
Rubiaceae	<i>Psychotria suterella</i>	Pequeno	Tube	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp.	Pequeno	Tube	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp.1	Pequeno	Tube	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp.3	Pequeno	Tube	Branca	Médio
Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp.4	Pequeno	Tube	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp.6	Inconspícuo	Tube	Branca	Pequeno
Rubiaceae	<i>Psychotria</i> sp.7	Pequeno	Tube	Branca	Médio
Asteraceae	<i>Pterocaulon virgatum</i>	Grande	Escova	Branca	Grande
Zingiberaceae	<i>Renalmia petasites</i>	Pequeno	Tube	Rosa	Grande
Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i>	Grande	Escova	Branca	Inconspícuo
Lamiaceae	<i>Salvia splendens</i>	Pequeno	Tube	Vermelha	Muito grande
Marantaceae	<i>Saranthe eichleri</i>	Médio	Tube	Branca	Inconspícuo
Cyperaceae	<i>Scleria distans</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Senecio madagascariensis</i>	Médio	Prato	Amarela	Pequeno
Malvaceae	<i>Sida glaziovii</i>	Médio	Prato	Branca	Pequeno
Malvaceae	<i>Sida planicaulis</i>	Pequeno	Prato	Verde	Inconspícuo
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i>	Médio	Prato	Verde	Inconspícuo
Malvaceae	<i>Sida tuberculata</i>	Pequeno	Prato	Verde	Inconspícuo
Solanaceae	<i>Solanum americanum</i>	Pequeno	Prato	Branca	Inconspícuo
Solanaceae	<i>Solanum grandiflorum</i>	Médio	Prato	Violeta	Grande

					Conclusão
Família da planta	Espécie da planta	Tamanho da flor	Formato da flor	Cor da flor	Comprimento da flor
Solanaceae	<i>Solanum granuloseprosum</i>	Médio	Prato	Violeta	Pequeno
Solanaceae	<i>Solanum palinacanthum</i>	Grande	Prato	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Solidago chilensis</i>	Inconspícuo	Escova	Amarela	Pequeno
Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	Pequeno	Escova	Amarela	Médio
Asteraceae	<i>Sphagneticola trilobata</i>	Inconspícuo	Prato	Amarela	Pequeno
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	Pequeno	Tubo	Violeta	Pequeno
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta</i> sp.1	Pequeno	Tubo	Violeta	Pequeno
Fabaceae	<i>Stylosanthes guianensis</i>	Pequeno	Bandeira	Amarela	Pequeno
Fabaceae	<i>Stylosanthes viscosa</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Amarela	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Symphiopappus compressus</i>	Pequeno	Escova	Branca	Pequeno
Melastomataceae	<i>Tibouchina cerastifolia</i>	Grande	Bandeira	Violeta	Pequeno
Melastomataceae	<i>Tibouchina fothergillae</i>	Médio	Prato	Violeta	Pequeno
Melastomataceae	<i>Tibouchina herbacea</i>	Grande	Prato	Violeta	Pequeno
Melastomataceae	<i>Tibouchina pulchra</i>	Muito grande	Prato	Violeta	Pequeno
Commelinaceae	<i>Tradescantia zebrina</i>	Médio	Prato	Rosa	Inconspícuo
Euphorbiaceae	<i>Tragia volubilis</i>	Inconspícuo	Inconspícuo	Verde	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Trichogoniopsis adenantha</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Commelinaceae	<i>Tripogandra diuretica</i>	Pequeno	Prato	Branca	Inconspícuo
Asteraceae	<i>Vernonanthura polyanthes</i>	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Vernonanthura</i> sp.1	Inconspícuo	Escova	Violeta	Pequeno
Asteraceae	<i>Vernonanthura subverticillata</i>	Pequeno	Escova	Rosa	Pequeno
Cucurbitaceae	<i>Wilbrandia verticillata</i>	Pequeno	Funil	Branca	Pequeno
Fabaceae	<i>Zornia latifolia</i>	Pequeno	Bandeira	Amarela	Pequeno

Referências

FAEGRI, K.; PIJL, L. Van Der. **The principles of pollination ecology**. 3. ed. New York: Pergamon, 1979. DOI: 10.1016/C2009-0-00736-3.

KOK, R. De; BIFFIN, Ed. **The pea key**. 2010.

LIMA, K. B. et al. Does landscape context affect pollination-related functional diversity and richness of understory flowers in forest fragments of Atlantic Rainforest in southeastern Brazil? **Ecological Processes**, v. 9, n. 1, 2020.

MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Annals of Botany**, v. 94, n. 3, p. 365–376, 2004. DOI: 10.1093/aob/mch152.

NOBREGA, B. R. **Paisagem e redes de polinização: Como manter a polinização na Mata Atlântica?** Tese (Doutorado em Entomologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2020.

RCPOL. **Rede de Catálogos Polínicos online**. 2022. Disponível em: <http://rcpol.org.br>. Acesso em: 16 abr. 2022.

RECH, A. R. et al. **Biologia da Polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014.

REFLORA. **Virtual Herbarium**. 2022. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>. Acesso em: 16 abr. 2022.

Apêndice 4

Quadro com as características funcionais de insetos para cada gênero de inseto analisado. Todas as características funcionais dos gêneros de insetos analisados foram retirados de Michener (2007) e Nobrega (2020). Para as características funcionais de vespídeos, dípteros e lepidópteros, foram consultados especialistas nas famílias aqui identificadas: Dr. Sidnei Mateus para as vespas eussociais, Me. Heloísa Flores para os dípteros e Dr. André Victor Lucci Freitas para os lepidópteros. Nós consultamos literatura científica para os demais gêneros com dados faltantes (Apêndice 5).

Família do inseto	Gênero do inseto	Socialidade	Local de nidificação	Especialização da dieta	Recursos buscados na flor
Nymphalidae	Actinote	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Aeria	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Agraulis	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Megachilidae	Ananthidium	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Anartia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Andrenidae	Anthrenoides	Solitária	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Apidae	Apis	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Lycaenidae	Arawacus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Arhysoceble	Solitária	Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Halictidae	Augochlora	Solitária; Parassocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Halictidae	Augochlorella	Solitária; Parassocial	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Halictidae	Augochloropsis	Solitária; Parassocial	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Megachilidae	Austrostelis	Solitária	Acima do Solo	Especialista	Néctar; Pólen; Pétala
Papilionidae	Battus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Bombus	Parassocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Vespidae	Brachygastra	Eussocial	Solo	Generalista	Néctar
Hesperiidae	Callimormus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Centris	Solitária	Solo	Especialista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Cephalotrigona	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen

Continua

Continuação

Família do inseto	Gênero do inseto	Socialidade	Local de nidificação	Especialização da dieta	Recursos buscados na flor
Apidae	Ceratina	Parassocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Colletidae	Chilicola	Solitária	Acima do Solo	Especialista	Néctar; Pólen
Hesperiidae	Cogia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Colletidae	Colletes	Solitária	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Dolichopodidae	Condyllostylos	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar; Pólen
Nymphalidae	Danaus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Halictidae	Dialictus	Parassocial	Solo; Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Megachilidae	Dicranthidium	Solitária	Acima do Solo	Especialista	Néctar; Pólen; Pétala
Bibionidae	Dilophus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar; Pólen
Nymphalidae	Dryas	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Megachilidae	Epanthidium	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen; Pétala
Apidae	Epicharis	Solitária	Solo	Especialista	Óleo; Pólen
Nymphalidae	Episcada	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Epityches	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Eufriesea	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen; Essências
Apidae	Euglossa	Parassocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen; Essências
Nymphalidae	Euptoieta	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Pieridae	Eurema	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Riodinidae	Eurybia	Solitária	Sem ninho	Especialista	Néctar
Apidae	Exomalopsis	Parassocial	Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Friesella	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Apidae	Geotrigona	Eussocial	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Hesperiidae	Gorgythion	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Heliconius	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar; Pólen
Hesperiidae	Heliopetes	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Lycaenidae	Hemiargus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Papilionidae	Heraclides	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar

Continuação

Família do inseto	Gênero do inseto	Socialidade	Local de nidificação	Especialização da dieta	Recursos buscados na flor
Nymphalidae	Hermeuptychia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Frutas fermentadas, excrementos, exudatos de plantas e animais em decomposição
Colletidae	Hylaeus	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Hesperiidae	Hylephila	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Megachilidae	Hypanthidium	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen; Pétala
Nymphalidae	Hypoleria	Solitária	Sem ninho	Especialista	Néctar
Nymphalidae	Hypothesis	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Ithomia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Junonia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Megachilidae	Larocanthidium	Solitária	Acima do Solo	Especialista	Néctar; Pólen; Pétala
Lycaenidae	Leptotes	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Mechanitis	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Megachilidae	Megachile	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen; Pétala
Apidae	Melipona	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Melissodes	Solitária	Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Melissoptila	Solitária	Solo	Especialista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Melitoma	Solitária	Solo	Especialista	Óleo; Pólen; Néctar
Milichiidae	Milichia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar; Pólen
Vespidae	Mischocyttarus	Eussocial	Acima do Solo	Especialista	Néctar
Apidae	Nannotrigona	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Halictidae	Neocorynura	Solitária; Parassocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Colletidae	Nomiocolletes	Solitária	Solo; Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Nymphalidae	Ortilia	Solitária	Sem ninho	Especialista	Néctar

Continuação

Família do inseto	Gênero do inseto	Socialidade	Local de nidificação	Especialização da dieta	Recursos buscados na flor
Andrenidae	Oxaea	Solitária	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Apidae	Paratetrapedia	Solitária	Solo	Especialista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Paratrigona	Eussocial	Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Colletidae	Perditomorpha	Solitária	Solo; Acima do Solo	Especialista	Néctar; Pólen
Pieridae	Phoebis	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Milichiidae	Phoniomyia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar; Pólen
Nymphalidae	Placidina	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Plebeia	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Vespidae	Polistes	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar
Vespidae	Polybia	Eussocial	Solo; Acima do Solo	Generalista	Néctar
Hesperiidae	Pompeius	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Andrenidae	Psaenythia	Solitária	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Halictidae	Pseudagapostemon	Parassocial	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Halictidae	Pseudaugochlora	Parassocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Nymphalidae	Pseudoscada	Solitária	Sem ninho	Especialista	Néctar
Colletidae	Ptiloglossa	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Apidae	Ptilothrix	Solitária	Solo	Especialista	Néctar; Pólen
Hesperiidae	Pyrgus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Pieridae	Pyrisitia	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Halictidae	Rhinocorynura	Solitária; Parassocial	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Andrenidae	Rhopitulus	Solitária	Solo	Especialista	Néctar; Pólen
Apidae	Scaptotrigona	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Schwarziana	Eussocial	Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Lycaenidae	Strymon	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Conopidae	Stylogaster	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Tapinotaspoides	Solitária	Solo	Especialista	Óleo; Pólen; Néctar
Nymphalidae	Tegosa	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Colletidae	Tetraglossula	Solitária	Solo; Acima do Solo	Especialista	Néctar; Pólen

Conclusão

Família do inseto	Gênero do inseto	Socialidade	Local de nidificação	Especialização da dieta	Recursos buscados na flor
Apidae	Tetragona	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen
Apidae	Tetragonisca	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Tetrapedia	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Apidae	Thalestria	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar
Apidae	Thygater	Solitária; Parassocial	Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Chloropidae	Tricimba	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar; Pólen
Apidae	Trigona	Eussocial	Acima do Solo	Generalista	Óleo; Pólen; Néctar
Hesperiidae	Trina	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Hesperiidae	Urbanus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Nymphalidae	Vanessa	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Hesperiidae	Vehilus	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Hesperiidae	Xenophanes	Solitária	Sem ninho	Generalista	Néctar
Apidae	Xylocopa	Solitária	Acima do Solo	Generalista	Néctar; Pólen

Referências

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. 2. ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007.

NOBREGA, B. R. **Paisagem e redes de polinização: Como manter a polinização na Mata Atlântica?** Tese (Doutorado em Entomologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2020.

Apêndice 5

Quadro com as referências bibliográficas adicionais para a obtenção dos dados de características funcionais de insetos utilizadas neste trabalho.

Ordem de inseto	Gênero de inseto	Características funcionais pesquisadas	Referências bibliográficas
Lepidoptera	Actinote	Todas.	FRANCINI; FREITAS; BROWN, 2005.
	Aeria		CARICILLI et al., 2004.
	Agraulis		ASKEW; VAN B. STAFFORD, 2008.
	Anartia		
	Arawacus		NOBRE; ROBBINS; ROBERT, 2014.
	Battus		SCALCO, 2014

Continua

Ordem de inseto	Gênero de inseto	Características funcionais pesquisadas	Referências bibliográficas
	Danaus		ASKEW; VAN B. STAFFORD, 2008.
	Dryas		
	Euptoieta		
	Eurema		
	Heliconius		RAMOS; FREITAS, 1999.
	Hemiargus		ASKEW; VAN B. STAFFORD, 2008.
	Heraclides		DI MARE; CORSEUIL, 2004.
	Hylephila		ASKEW; VAN B. STAFFORD, 2008.
	Junonia		
	Leptotes		
	Mechanitis		
	Phoebis		
	Placidina		
	Pompeius		
	Pyrisitia		
	Strymon		
	Tegosa		
	Urbanus		
Vanessa			
Vehilus			
Xenophanes			
Vespidae	Polistes	Todas.	CARPENTER, 1996; KRENN et al., 2005.
	Polybia		TRUYLIO; HARTE-MARQUES, 2007.

Referências

ASKEW, R. R.; VAN B. STAFFORD, P. A. **Butterflies of the Cayman Islands**. Apollo Books, 2008.

CARICILLI, A. M. et al. **Biologia populacional de Aeria olena (Nymphalidae, Ithomiinae) na Serra do Japi**, 2004.

CARPENTER, J. M. Distributional Checklist of Species of the Genus *Polistes* (Hymenoptera: Vespidae; Polistinae, Polistini). **American Museum Novitates**, v. 3188, p. 1–39, 1996.

DI MARE, R. A.; CORSEUIL, E. Morfometria de Papilioninae (Lepidoptera, Papilionidae) ocorrentes em quatro localidades do Rio Grande do Sul, Brasil. II. Relação entre partes do corpo, aerodinâmica de vôo e tipos de asas. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 4, p. 833–846, 2004.

KRENN, H. W.; PLANT, J. D.; SZUCSICH, N. U. Mouthparts of flower-visiting insects. **Arthropod Structure and Development**, v. 34, n. 1, p. 1–40, 2005. DOI: 10.1016/j.asd.2004.10.002.

RAMOS, R. R.; FREITAS, A. V. L. Population biology and wing color variation in *Heliconius erato phyllis* (Nymphalidae). **Journal of the Lepidopterists' Society**, v. 53, n. 1, p. 11–21, 1999.

SCALCO, V. W. **Biologia populacional e uso de planta hospedeira em *Battus polydamas polydamas* e *Battus polystictus polystictus* (Troidini, Papilionidae)**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

TRUYLIO, B.; HARTER-MARQUES, B. A comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em áreas florestais do Parque Estadual de Itapuã (Viamão, RS): diversidade, abundância relativa e atividade sazonal. **Iheringia, Sér. Zool.**, v. 97, n. 4, p. 392–399, 2007.

Apêndice 6

Tabela com os valores do índice de dispersão funcional de insetos e plantas (com variação de 0 a 1) para cada ponto amostral coletado.

Ponto amostral	Dispersão funcional de insetos	Dispersão funcional de plantas
1p10 2015	0.296	0.530
1p10 2016	0.297	0.514
1p16 2016	0.210	0.524
1p16 2017	0.435	0.513
1p25 2016	0.400	0.472
1p25 2017	0.392	0.507
1p26 2017	0.274	0.504
1p26 2016	0.156	0.431
1p35 2016	0.324	0.416
1p35 2017	0.341	0.494
1p41 2016	0.230	0.000
1p41 2017	0.222	0.000
1p5 2015	0.273	0.525
1p5 2016	0.343	0.544
1p7 2016	0.132	0.431
1p8 2015	0.361	0.506
1p8 2016	0.333	0.534
1p9 2016	0.372	0.538
1p9 2015	0.465	0.530
2p16 2016	0.258	0.533
2p16 2017	0.404	0.470
2p25 2017	0.000	0.000
2p28 2016	0.368	0.000
2p2 2015	0.318	0.461
2p2 2016	0.351	0.494
2p48 2016	0.261	0.536
2p48 2017	0.335	0.519
2p4 2016	0.336	0.502

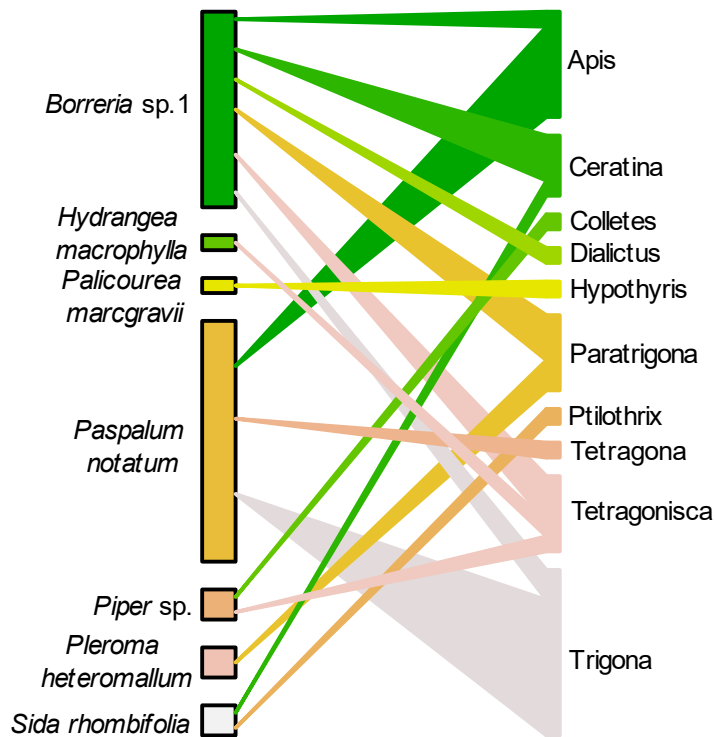
Continua

Ponto amostral	Dispersão funcional de insetos	Dispersão funcional de plantas
2p5 2015	0.468	0.000
2p5 2016	0.385	0.520
2p7 2015	0.374	0.523
2p7 2016	0.377	0.484
2p8 2016	0.382	0.536
2p8 2015	0.000	0.522
3p16 2016	0.000	0.000
3p16 2017	0.218	0.508
3p1 2015	0.313	0.483
3p1 2016	0.395	0.498
3p3 2015	0.342	0.541
3p3 2016	0.346	0.556
3p60 2016	0.229	0.389
3p60 2017	0.276	0.450
3p69 2016	0.338	0.542
3p69 2017	0.371	0.554
3p6 2015	0.190	0.309
3p6 2016	0.000	0.000
3p7 2016	0.222	0.257
3p7 2017	0.000	0.000
4p3 2015	0.304	0.533
4p3 2016	0.362	0.536
4p48 2016	0.284	0.558
4p48 2017	0.313	0.532
4p4 2016	0.347	0.492
4p4 2015	0.427	0.489
9p28 2016	0.299	0.320
9p28 2017	0.432	0.539

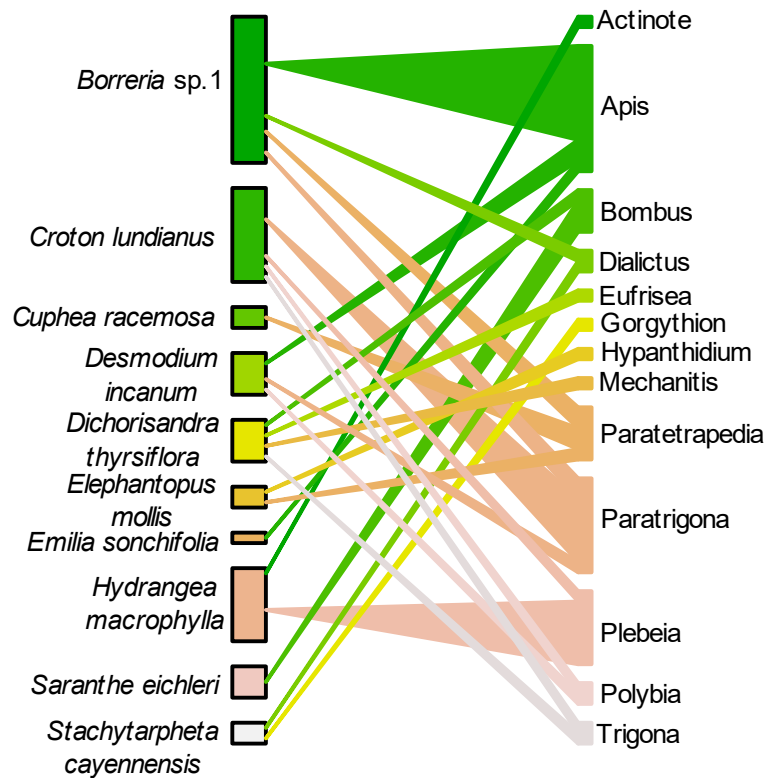
Apêndice 7

Redes de visitação floral inseto-planta construídas para cada ponto amostral em cada ano de coleta.

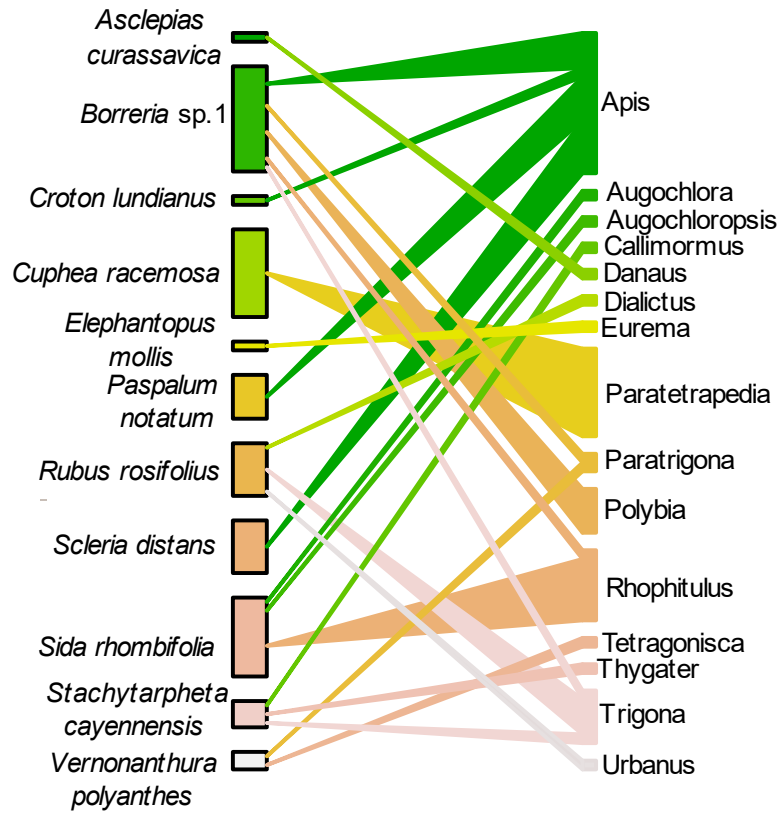
1p5 2015



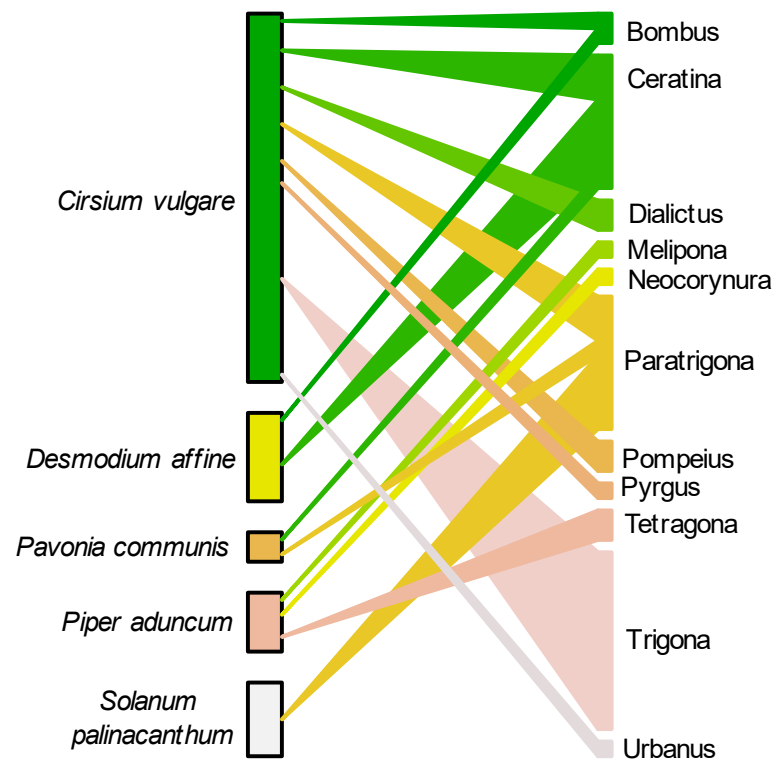
1p8 2015



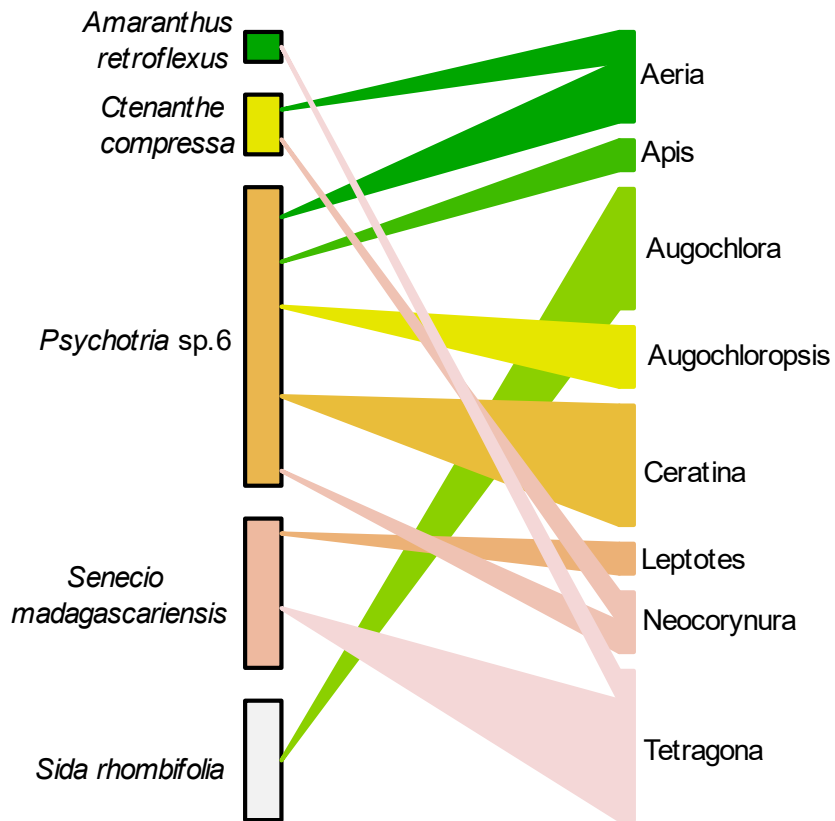
1p9 2015



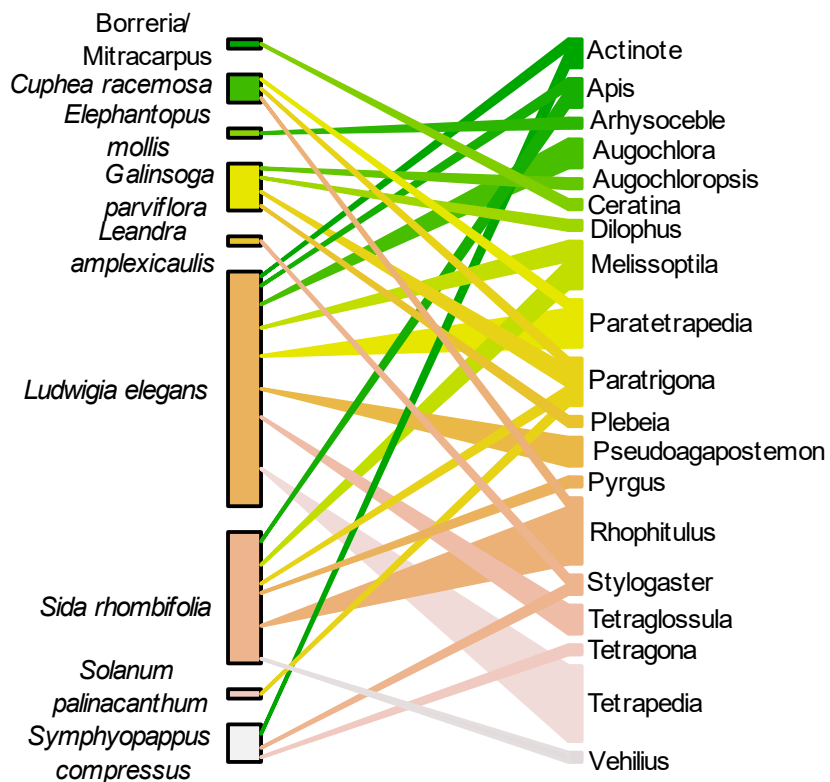
1p10 2015



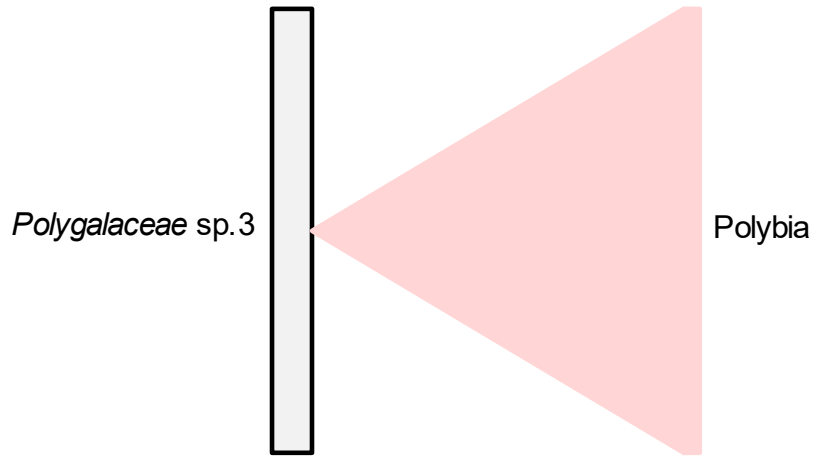
2p2 2015



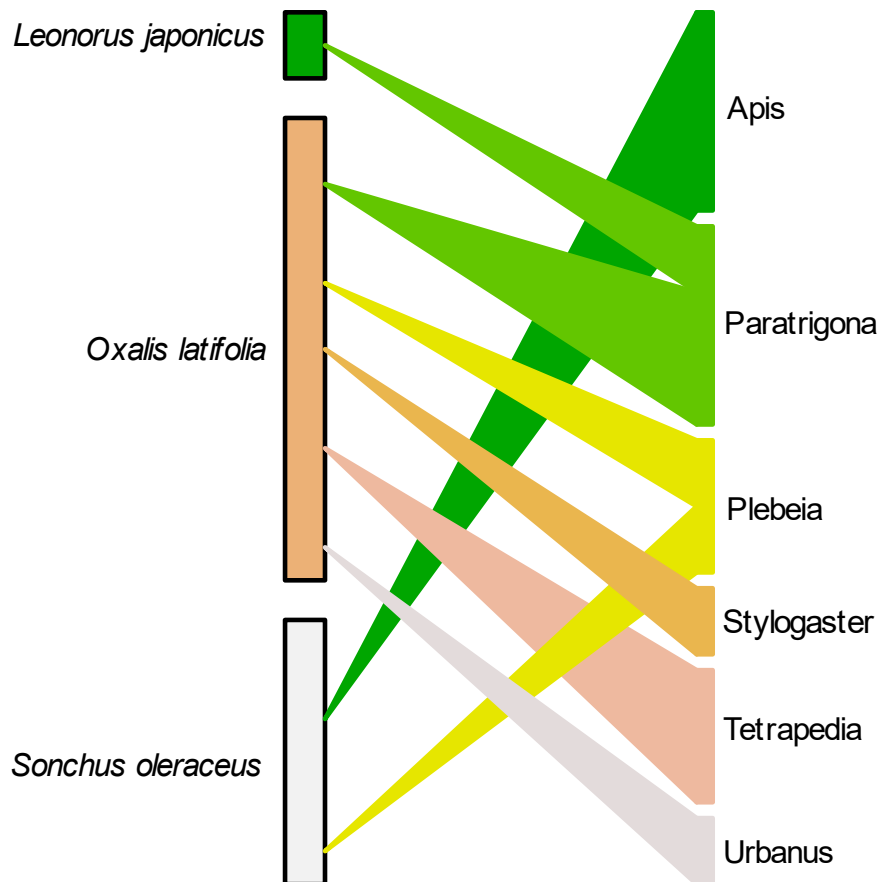
2p5 2015



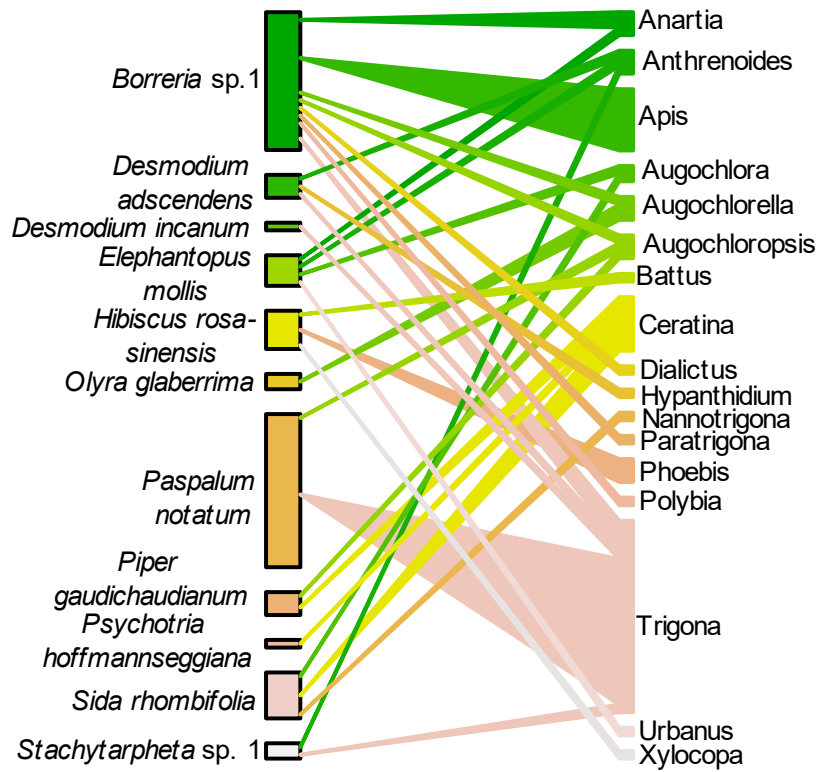
2p8 2015



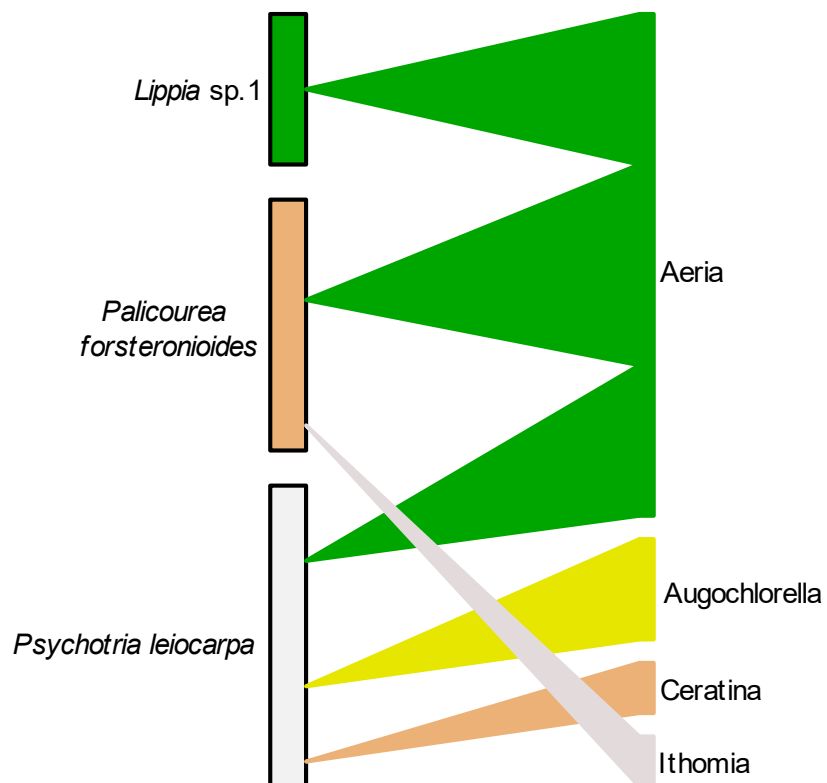
3p1 2015



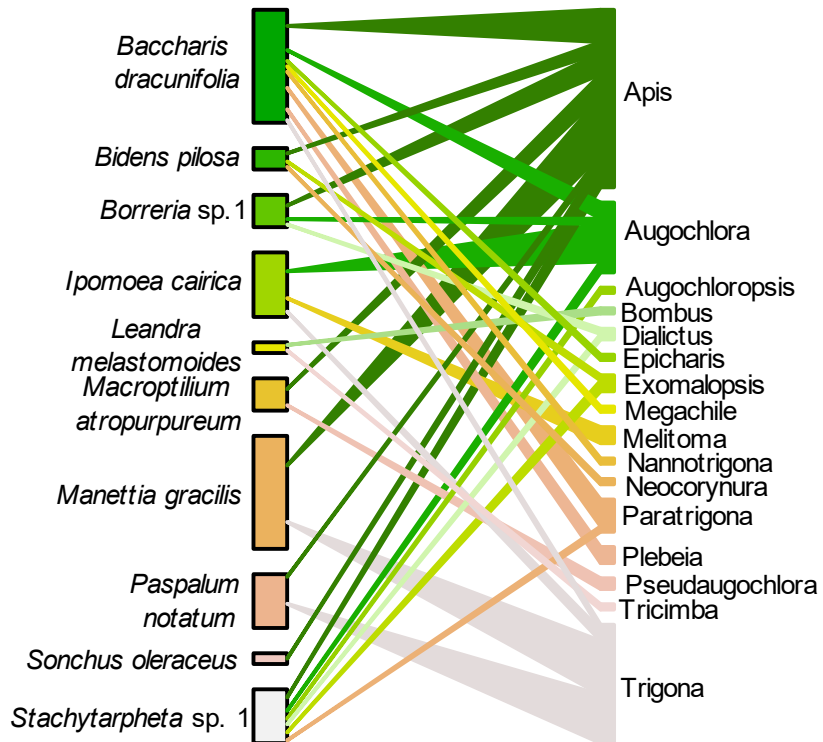
3p3 2015



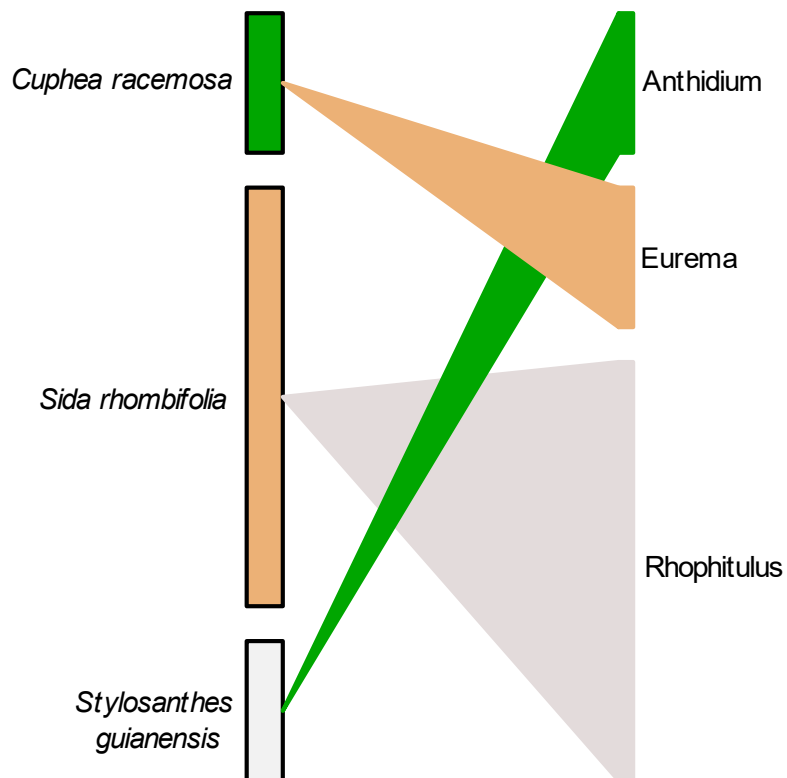
3p6 2015



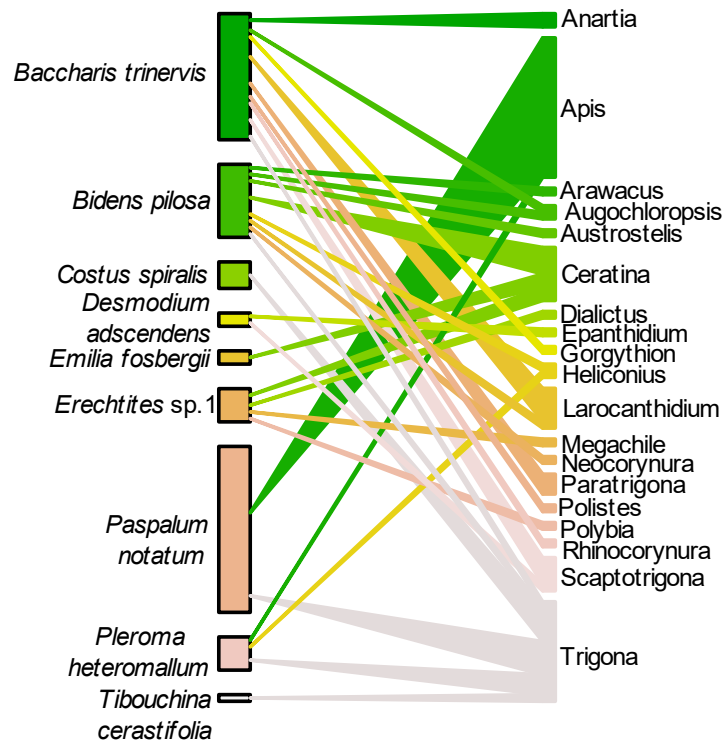
4p3 2015



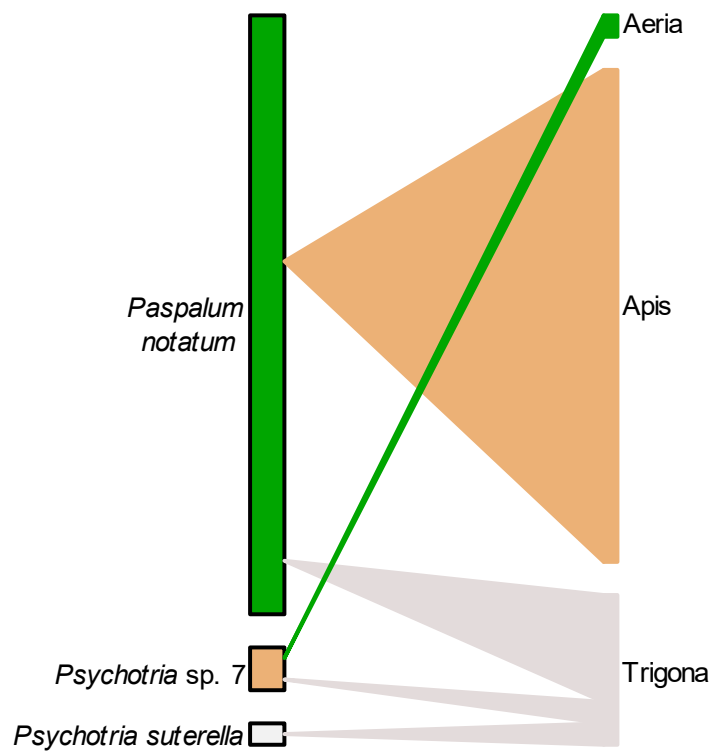
4p4 2015



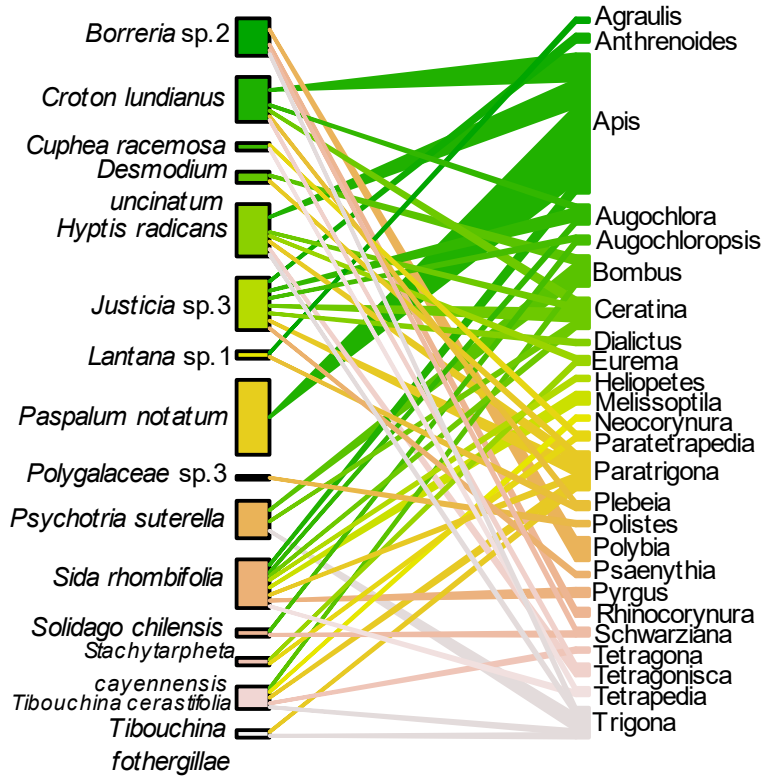
1p5 2016



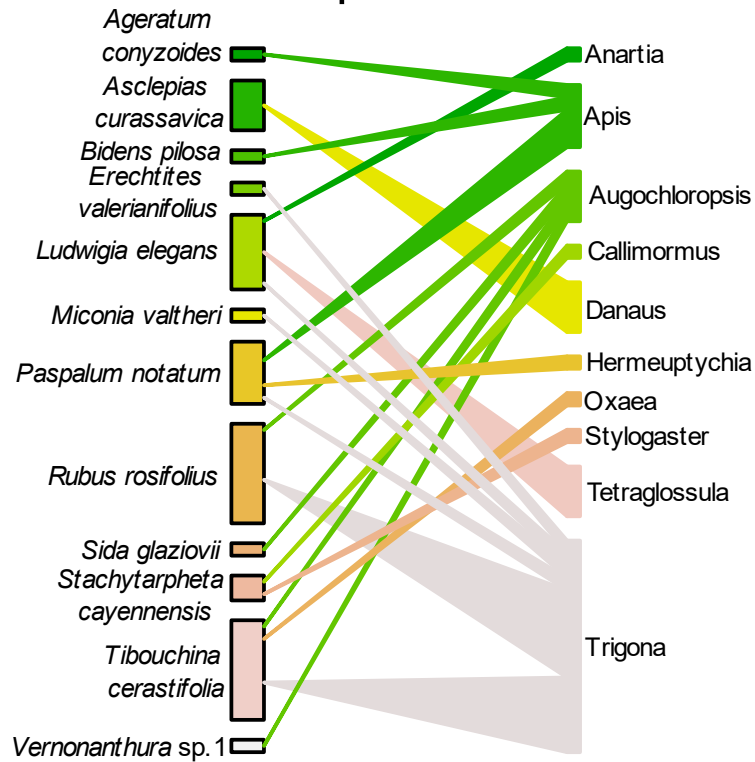
1p7 2016



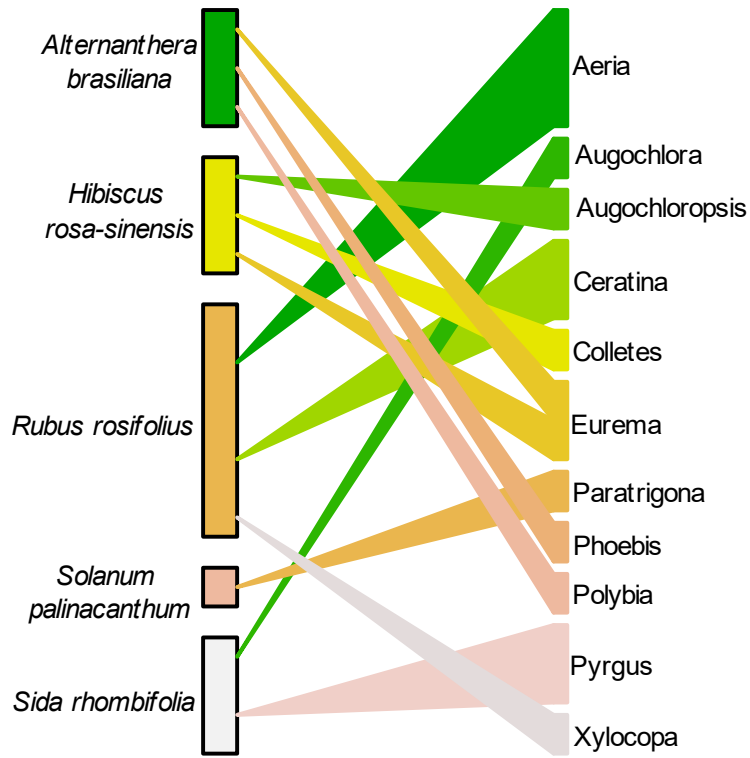
1p8 2016



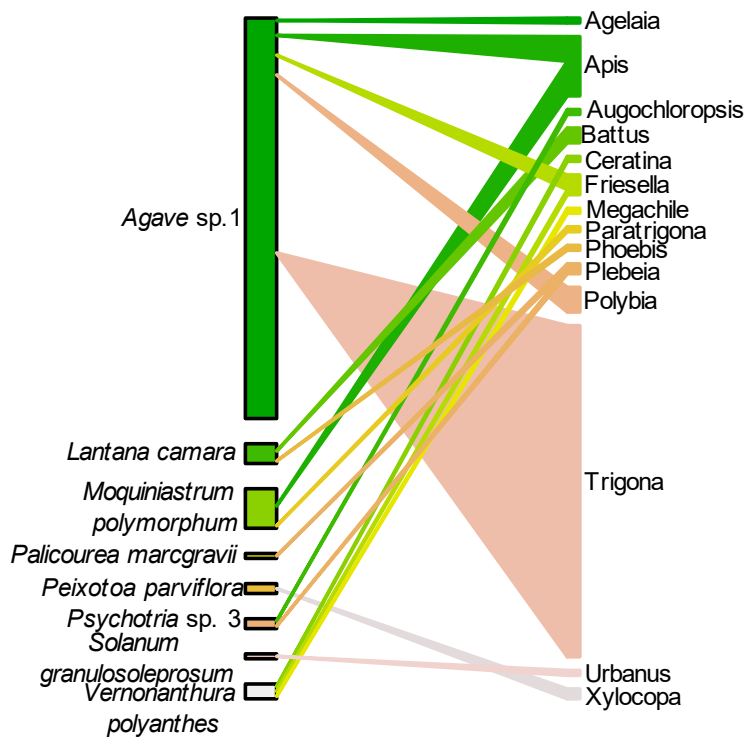
1p9 2016



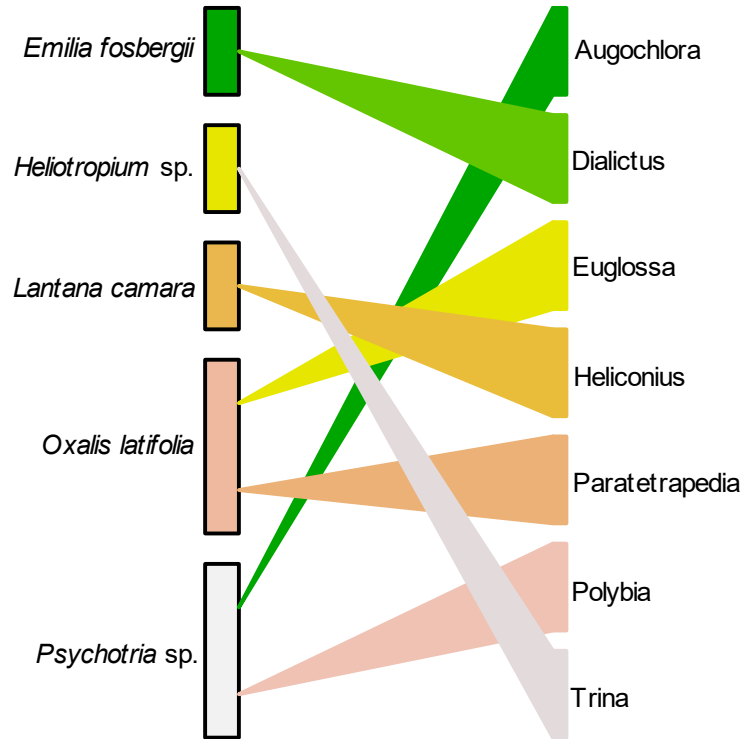
1p10 2016



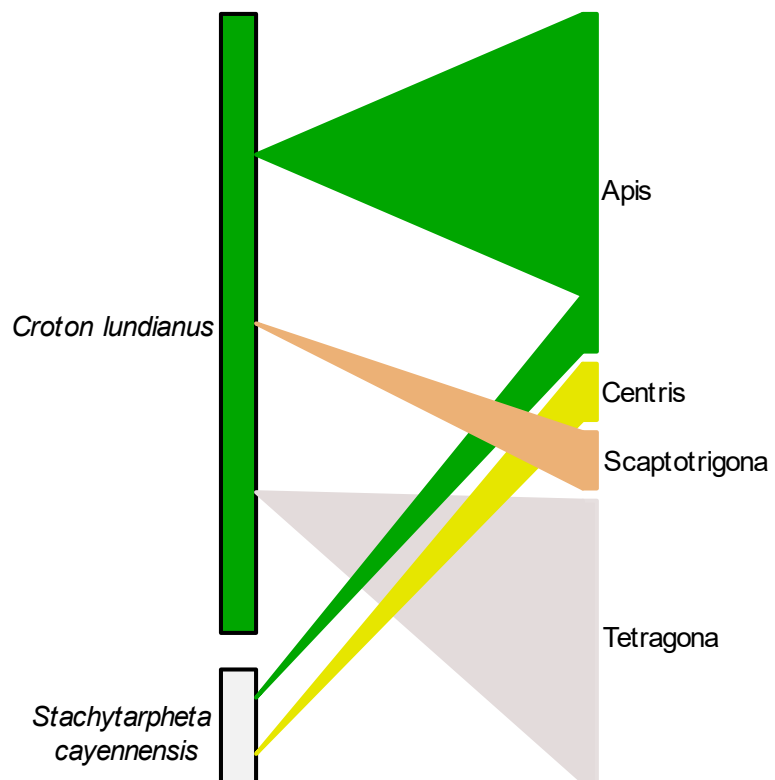
1p16 2016



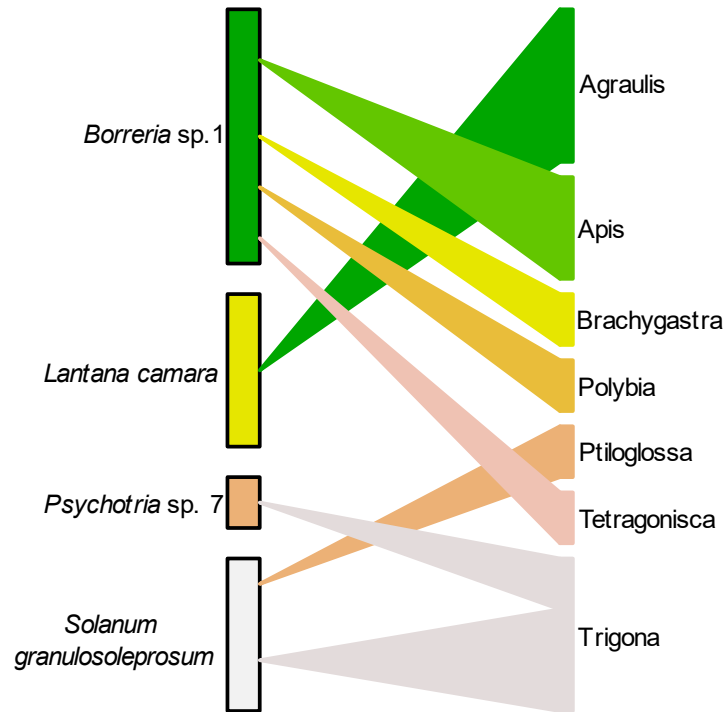
1p25 2016



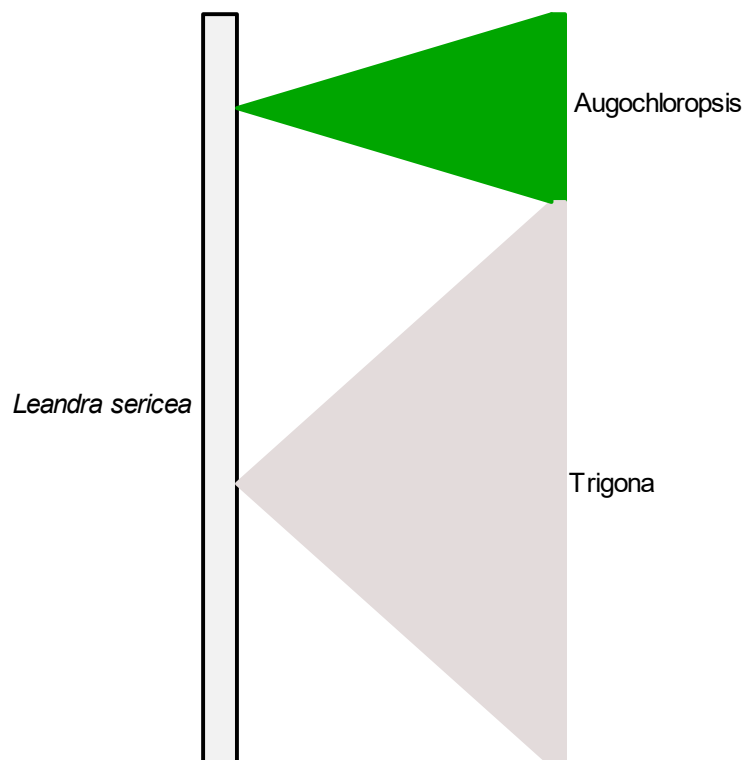
1p26 2016



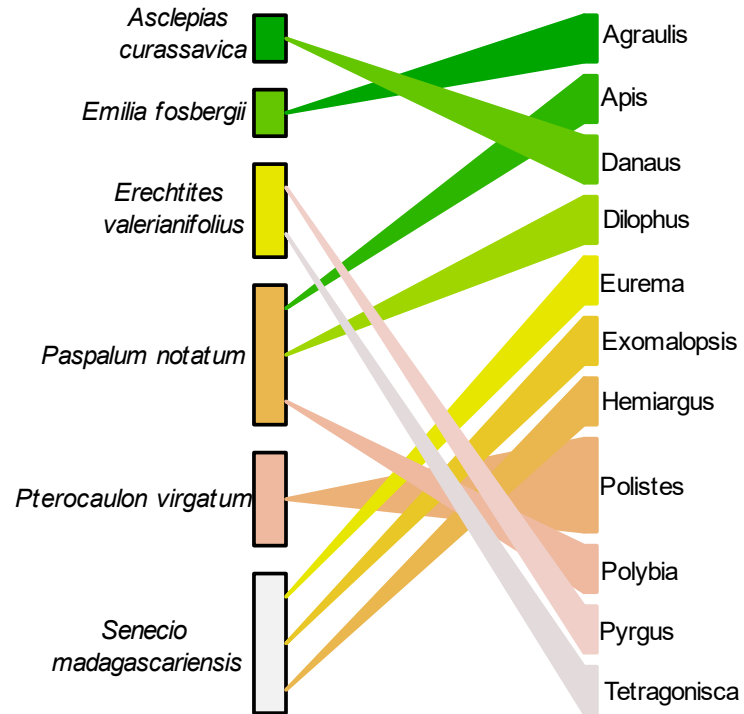
1p35 2016



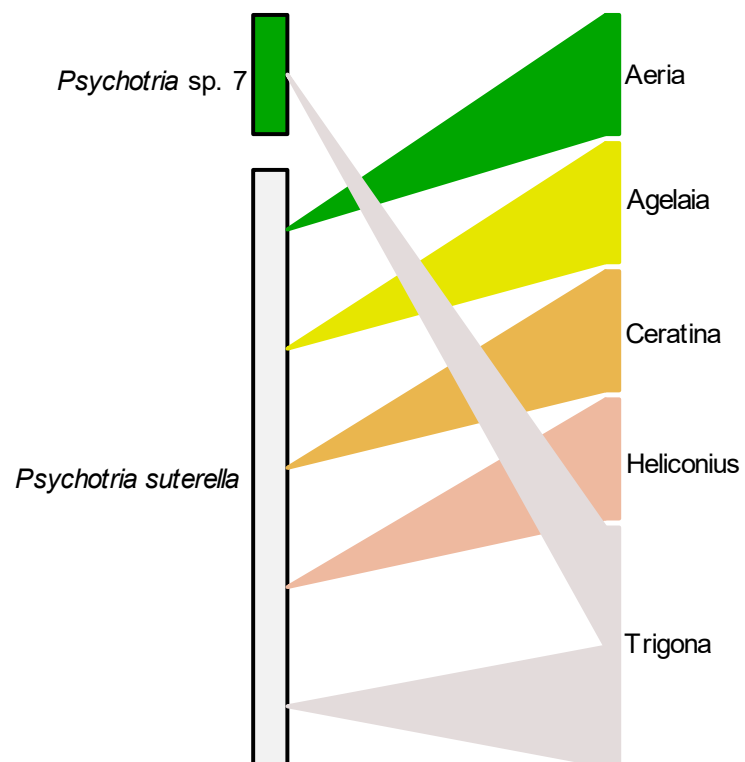
1p41 2016



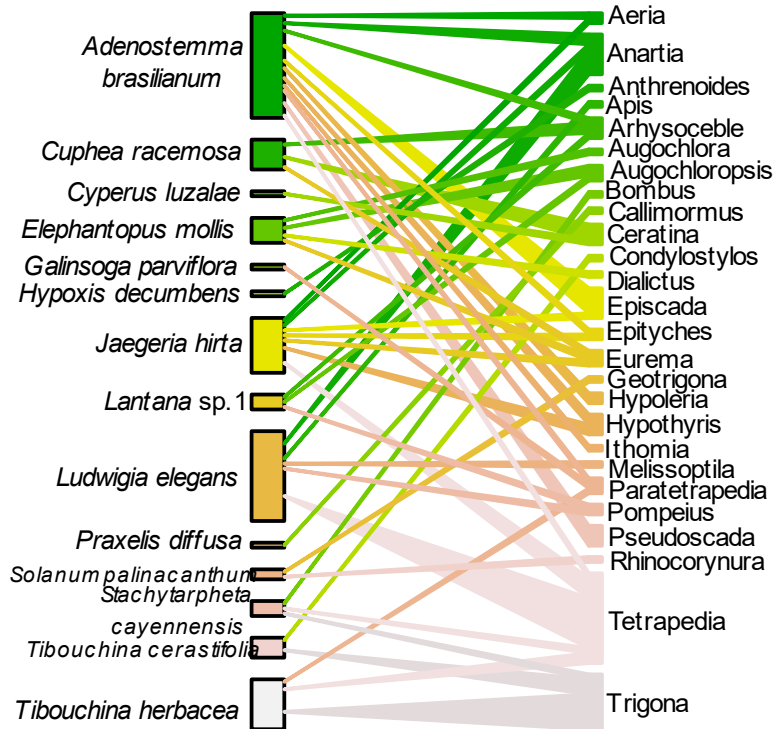
2p2 2016



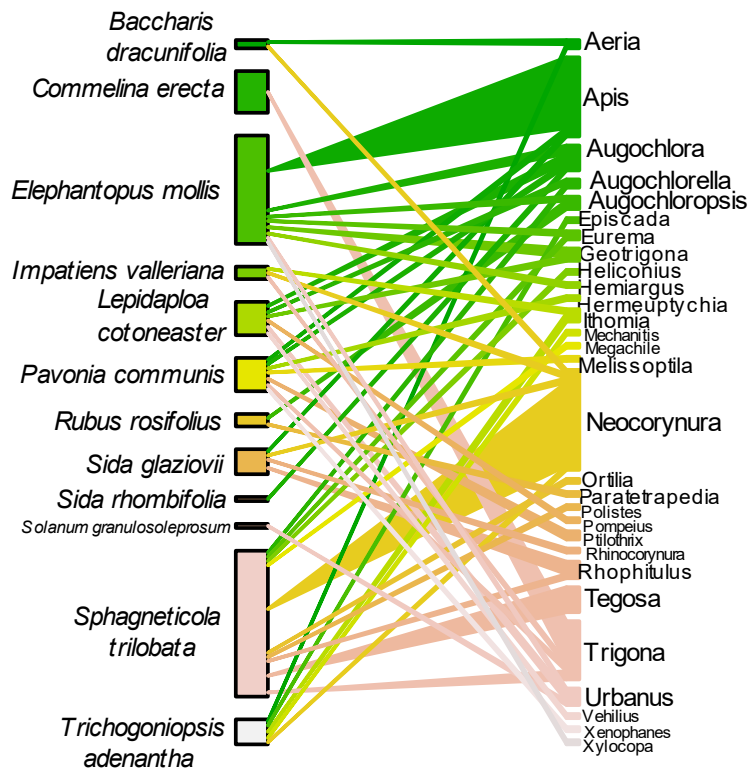
2p4 2016



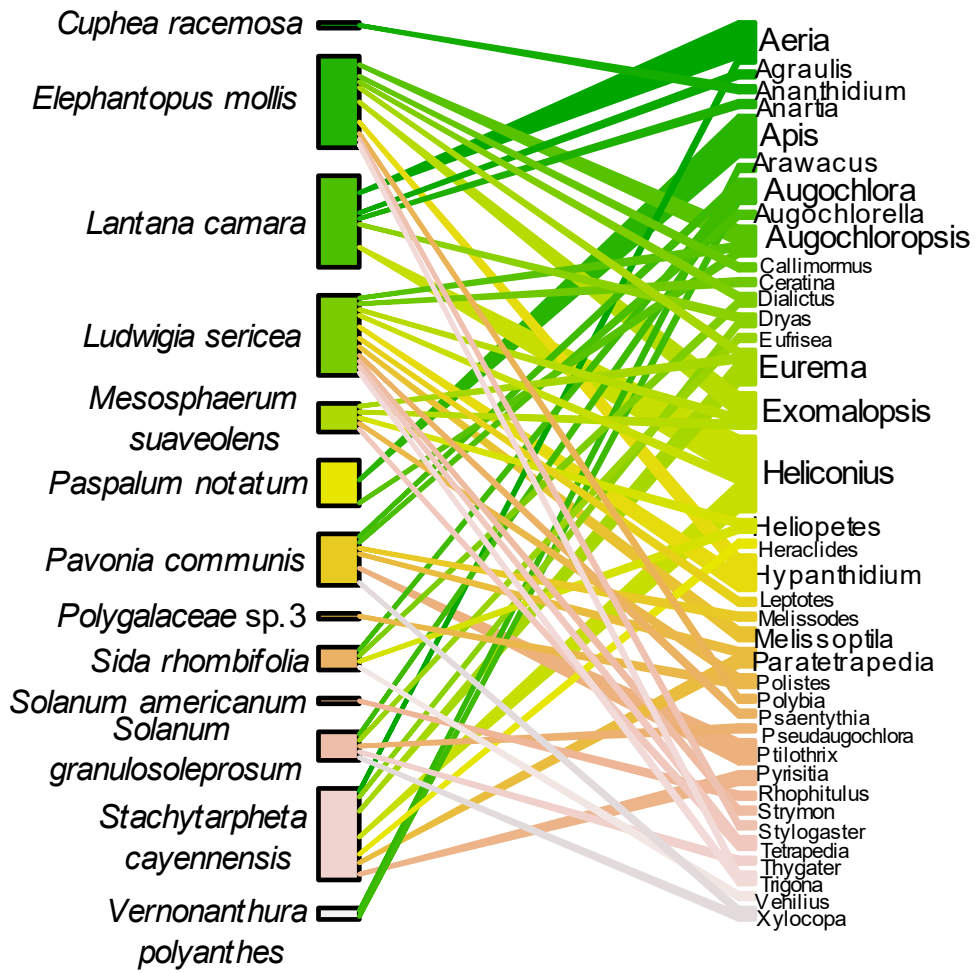
2p5 2016



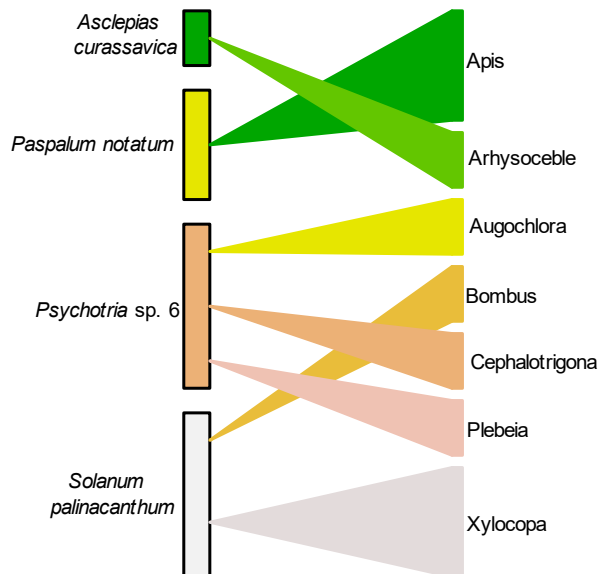
2p7 2016



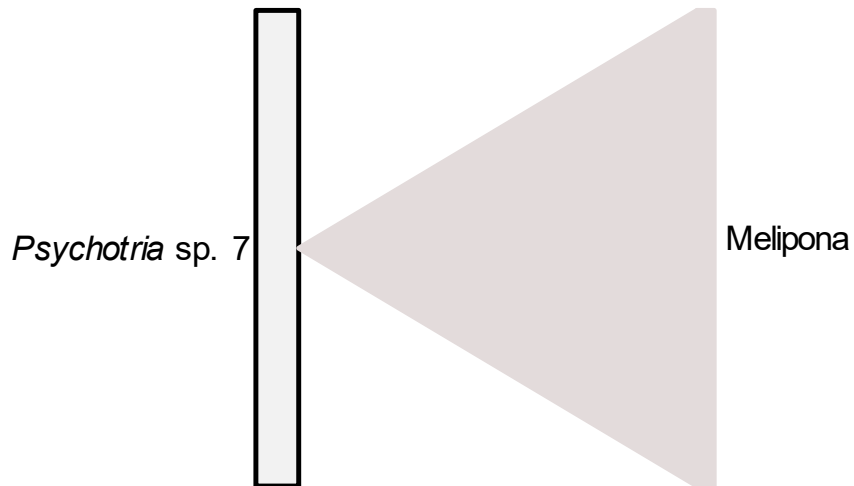
2p8 2016



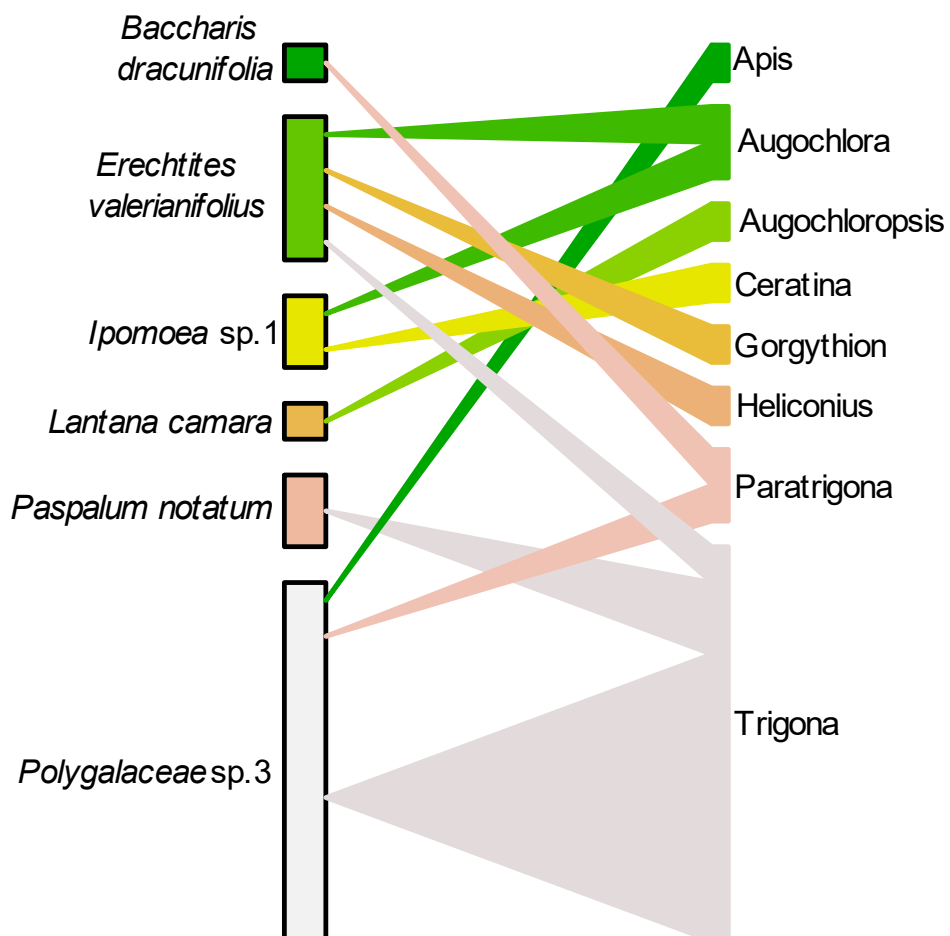
2p16 2016



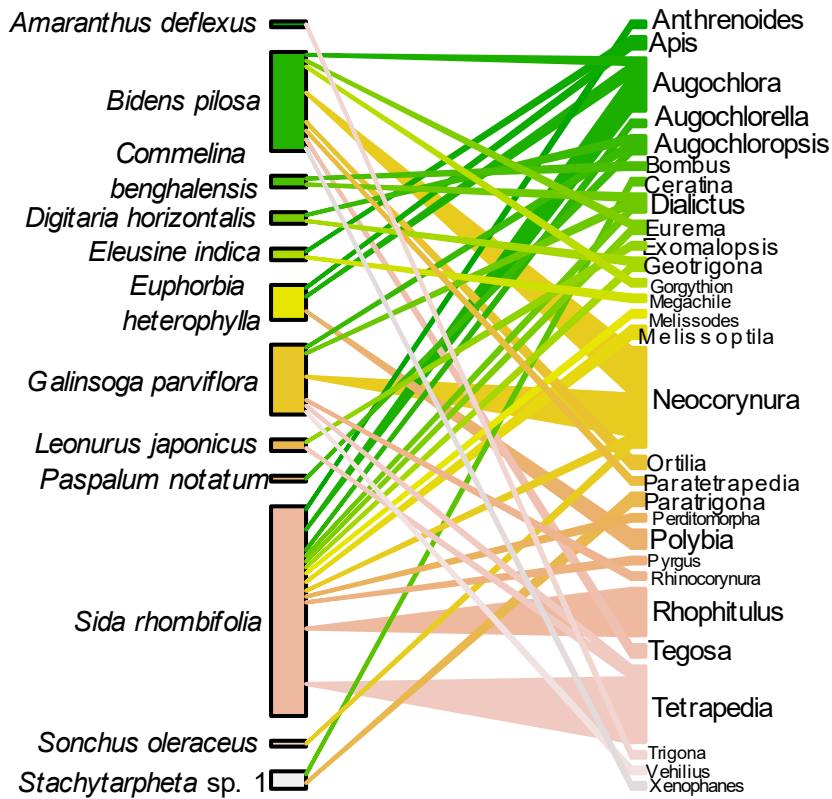
2p28 2016



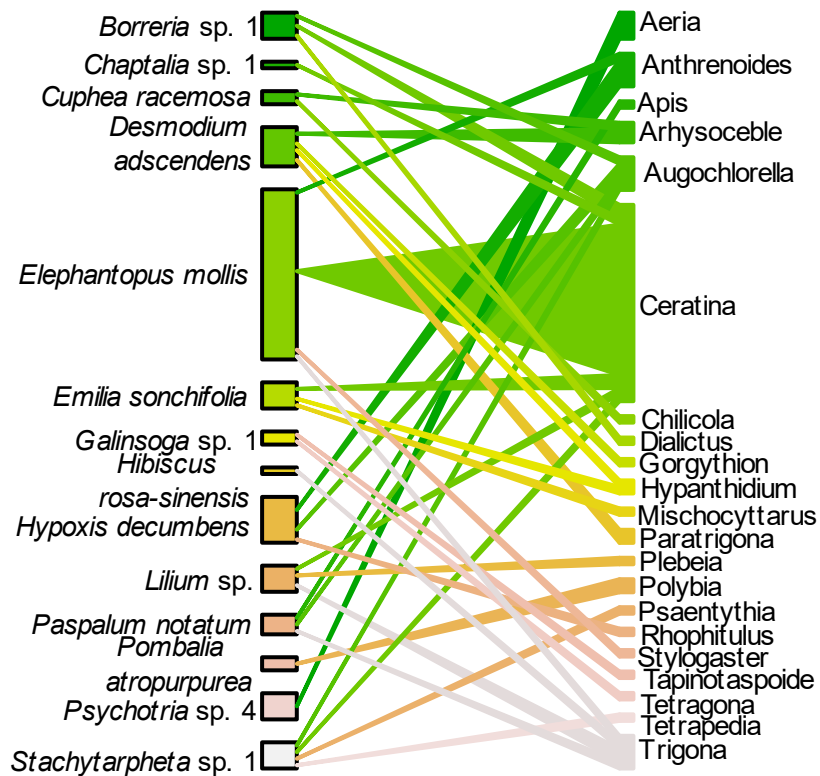
2p48 2016



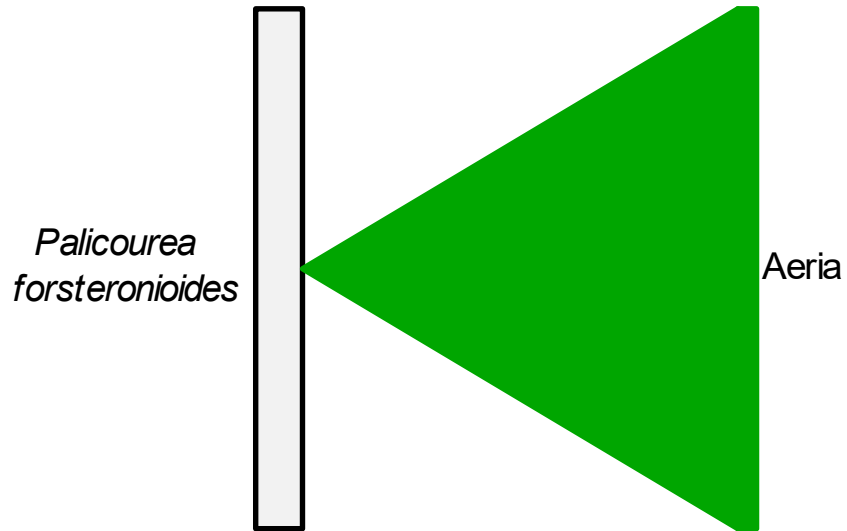
3p1 2016



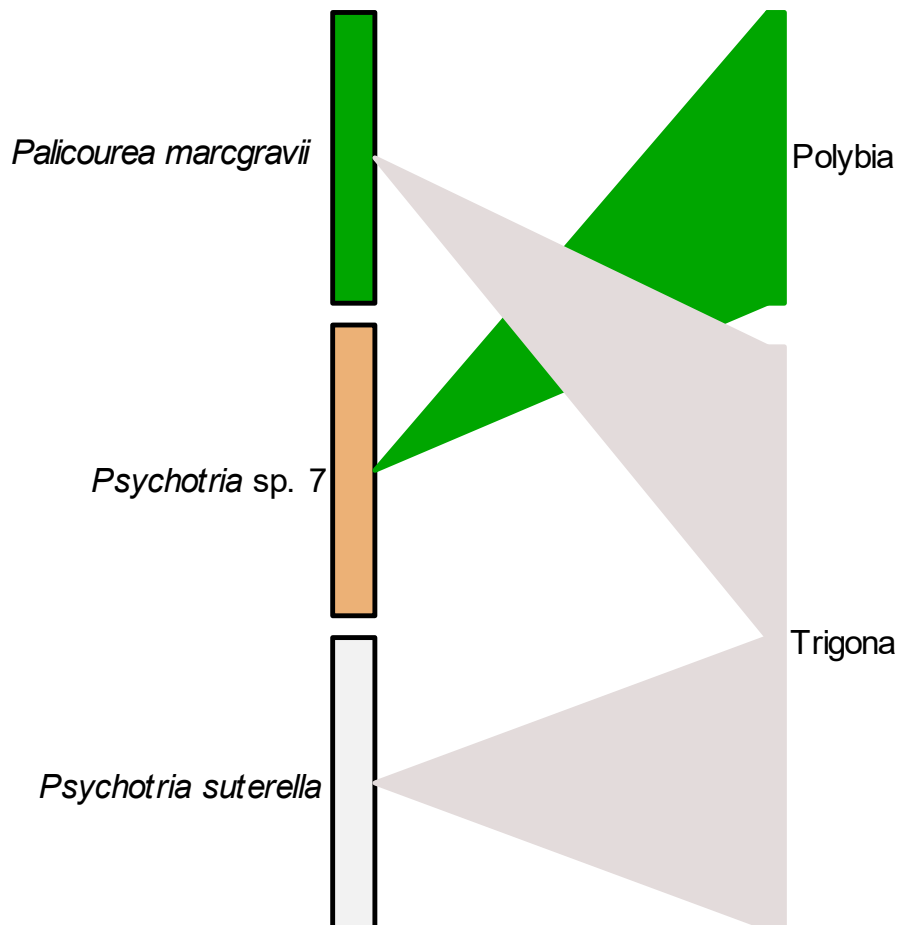
3p3 2016



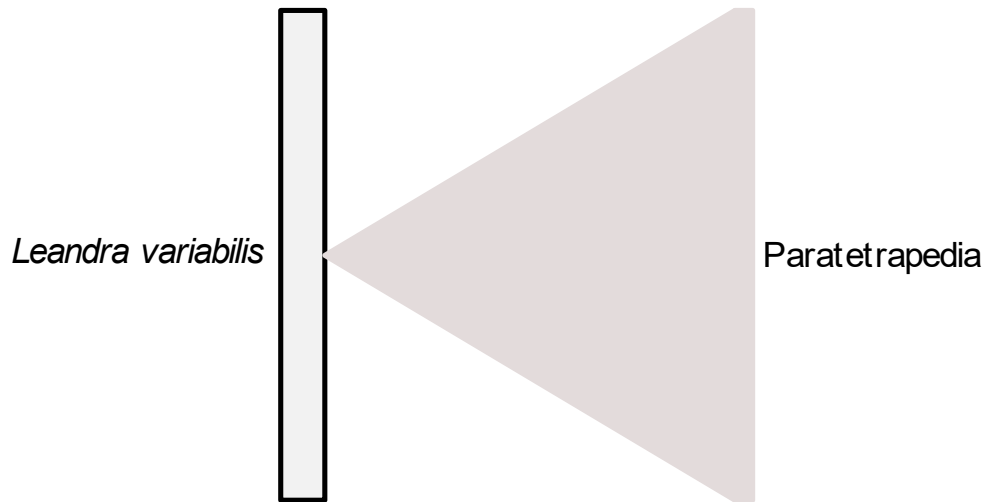
3p6 2016



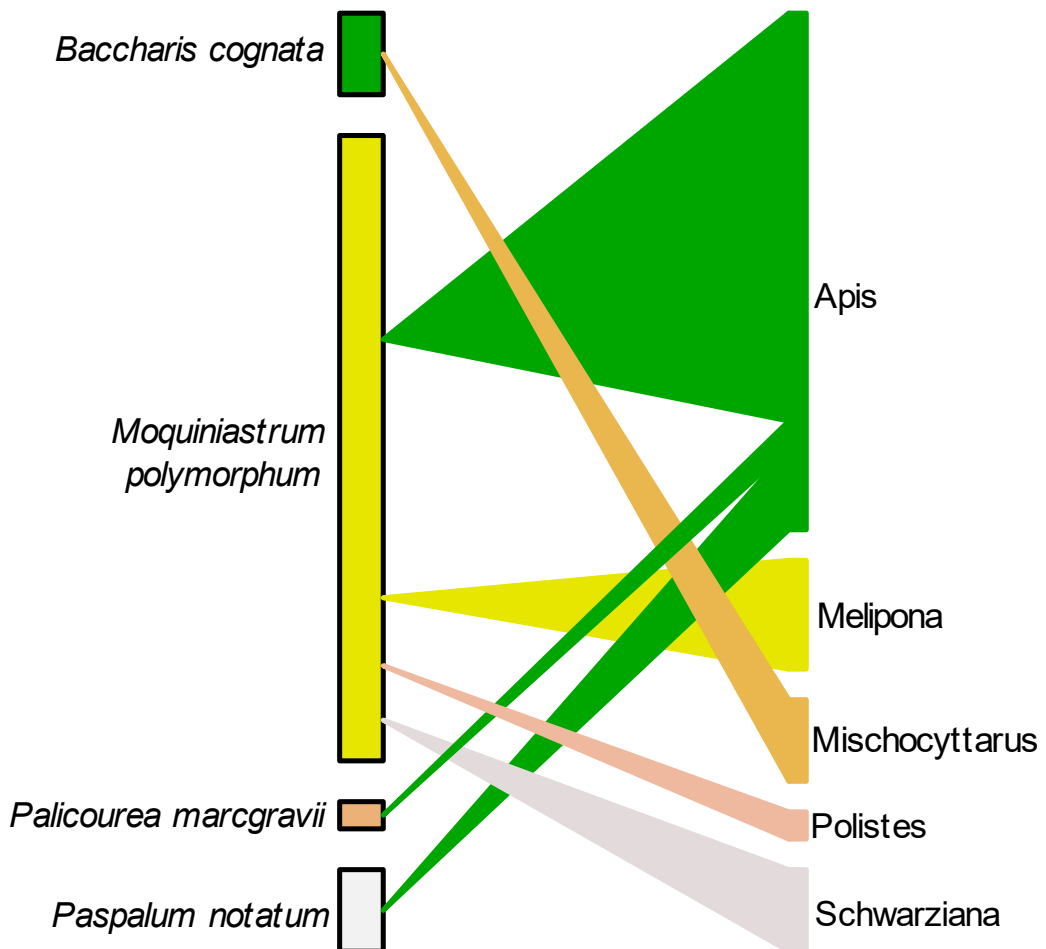
3p7 2016



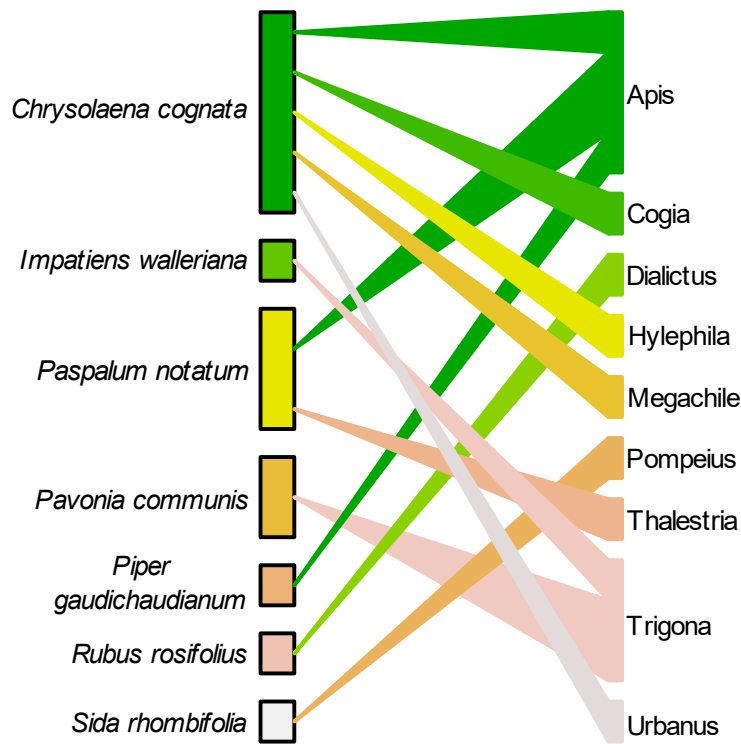
3p16 2016



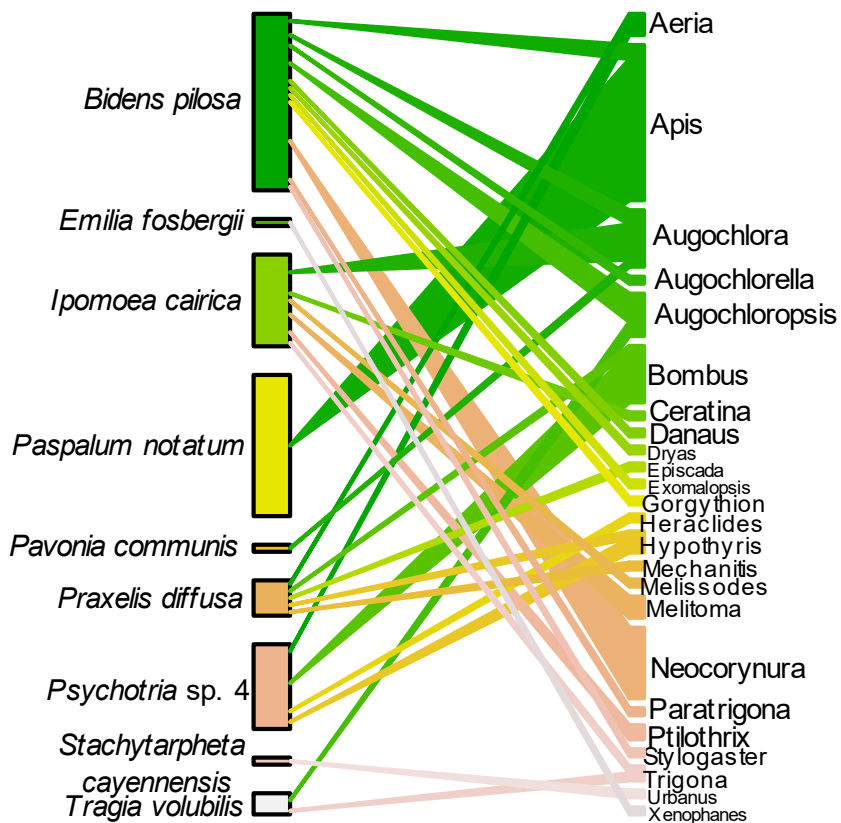
3p60 2016



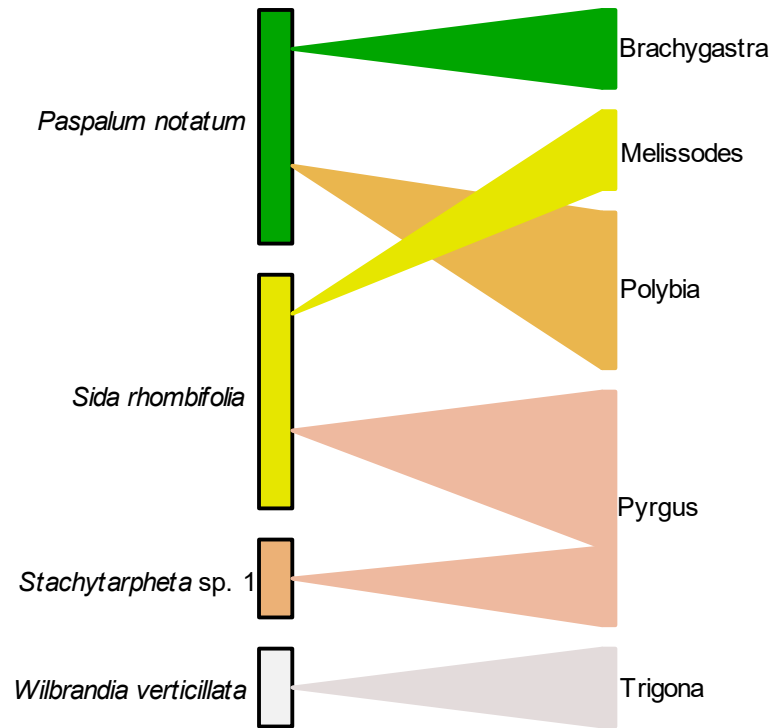
3p69 2016



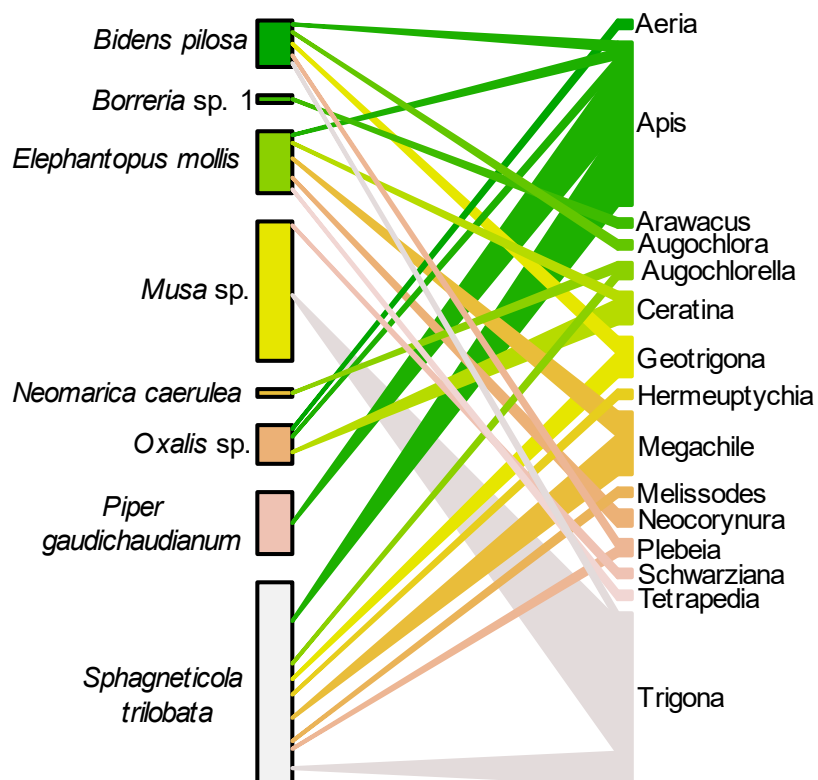
4p3 2016



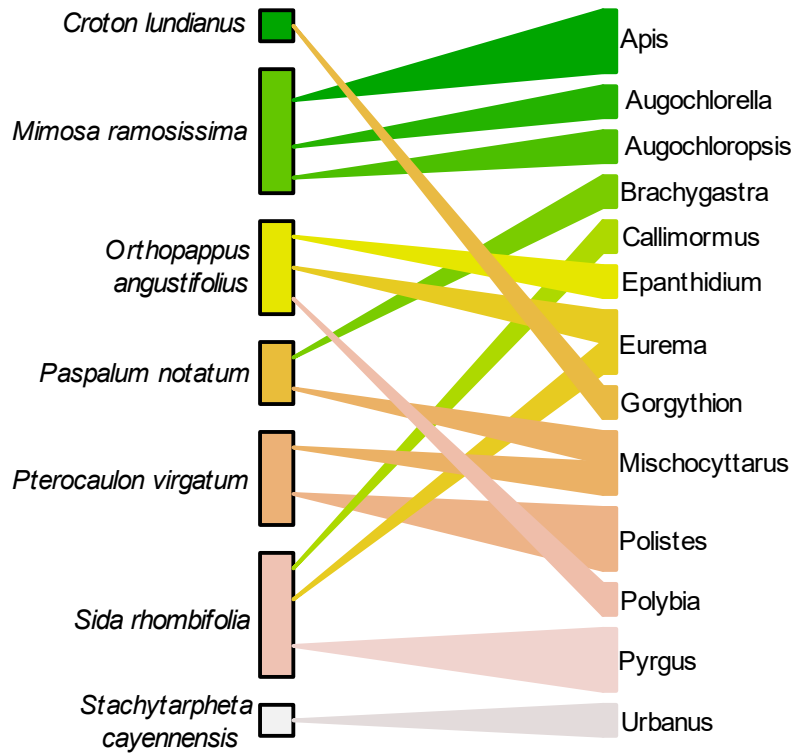
4p4 2016



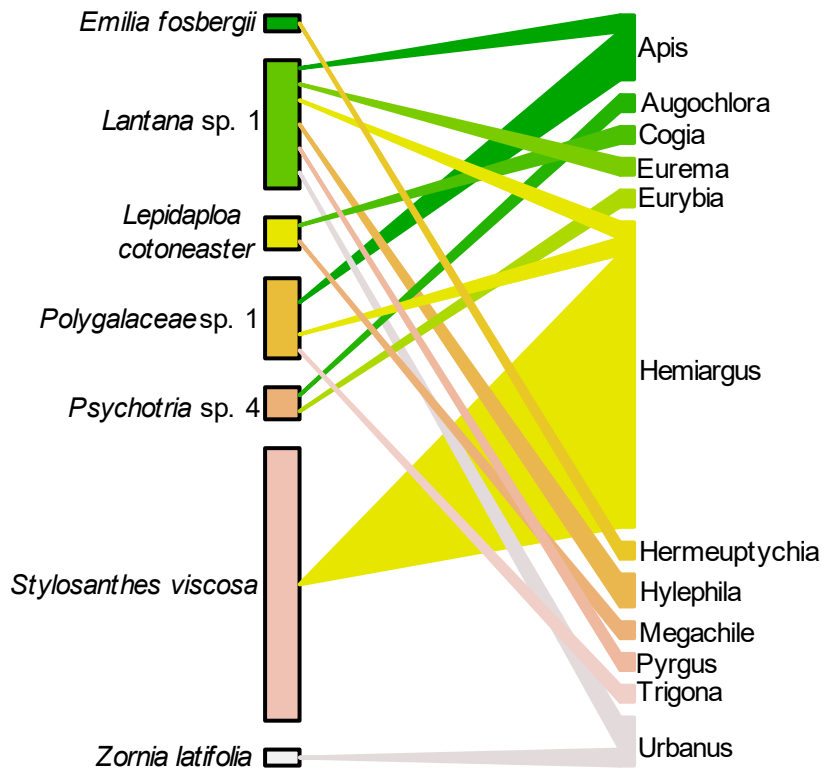
4p48 2016



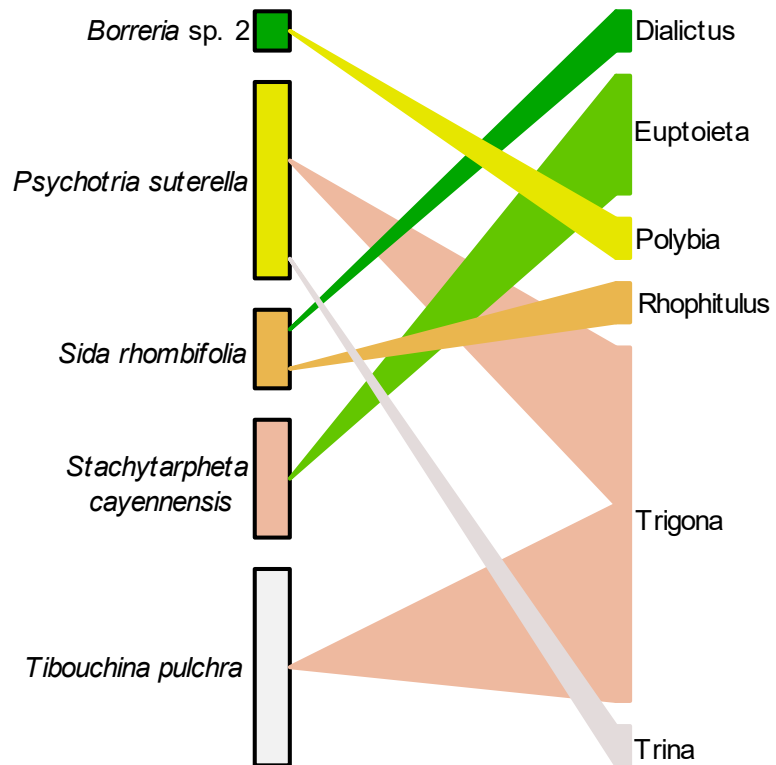
1p25 2017



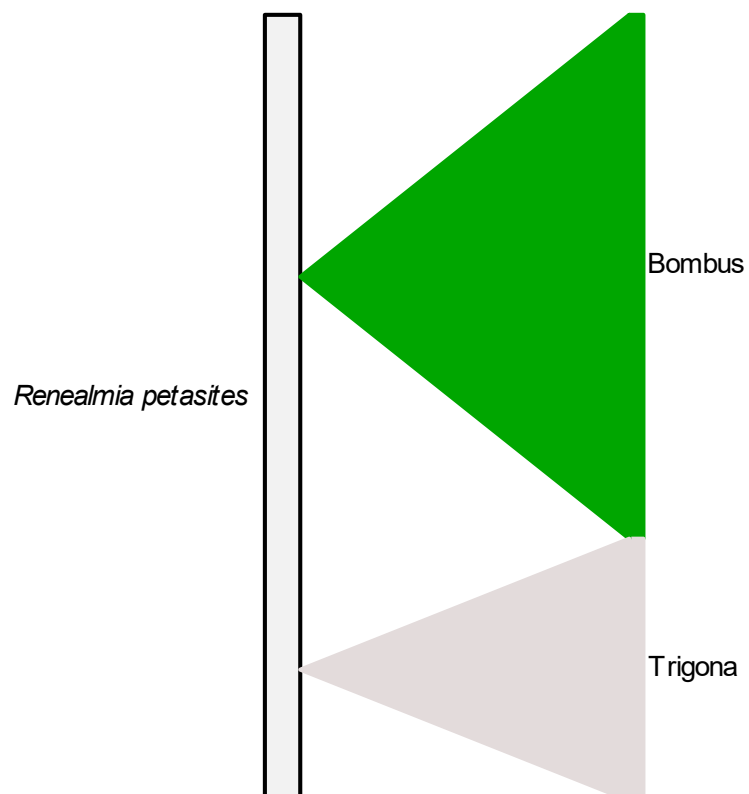
1p26 2017



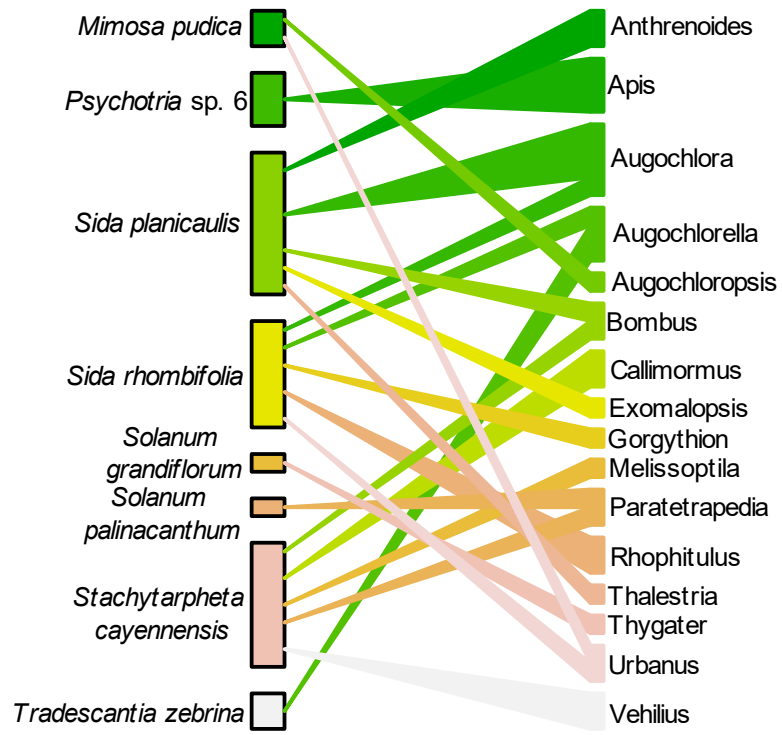
1p35 2017



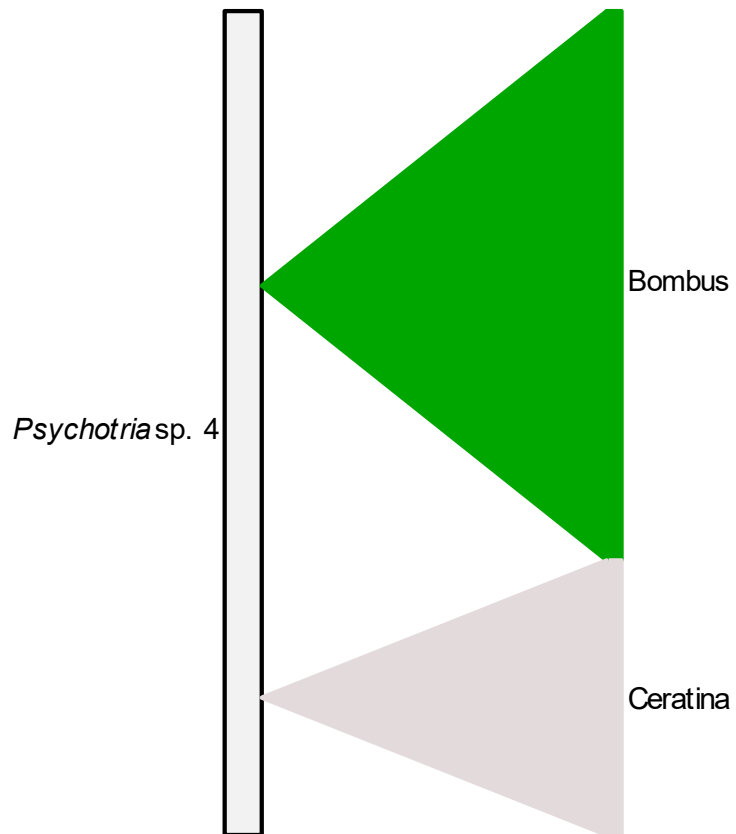
1p41 2017



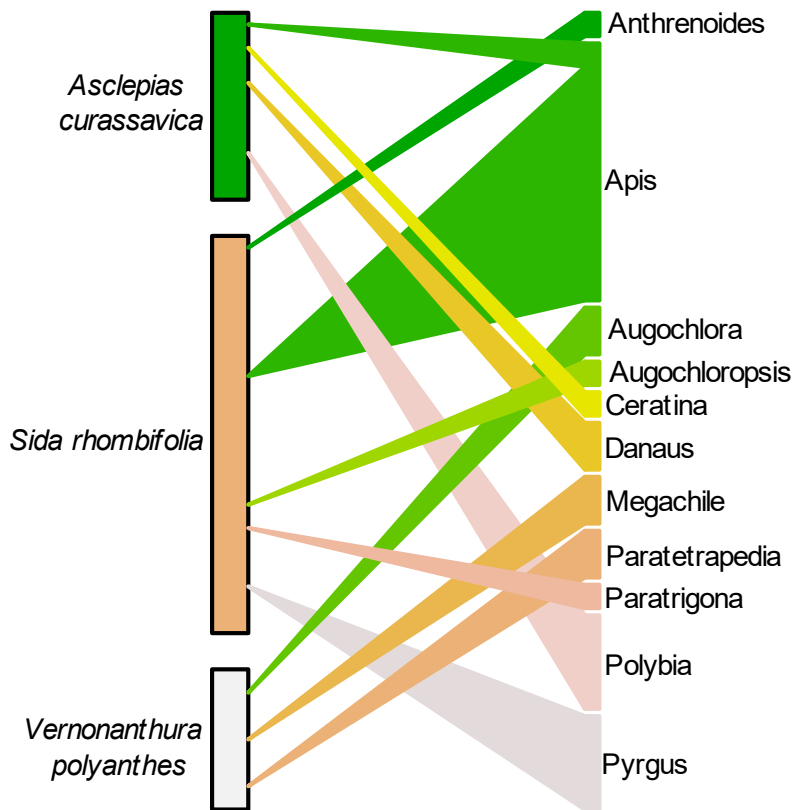
2p16 2017



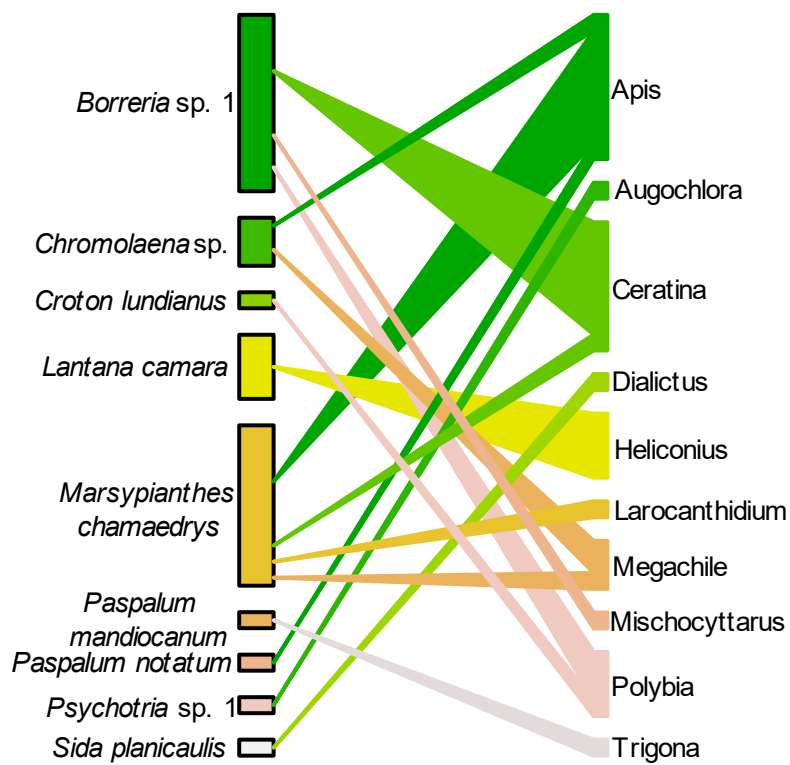
2p25 2017



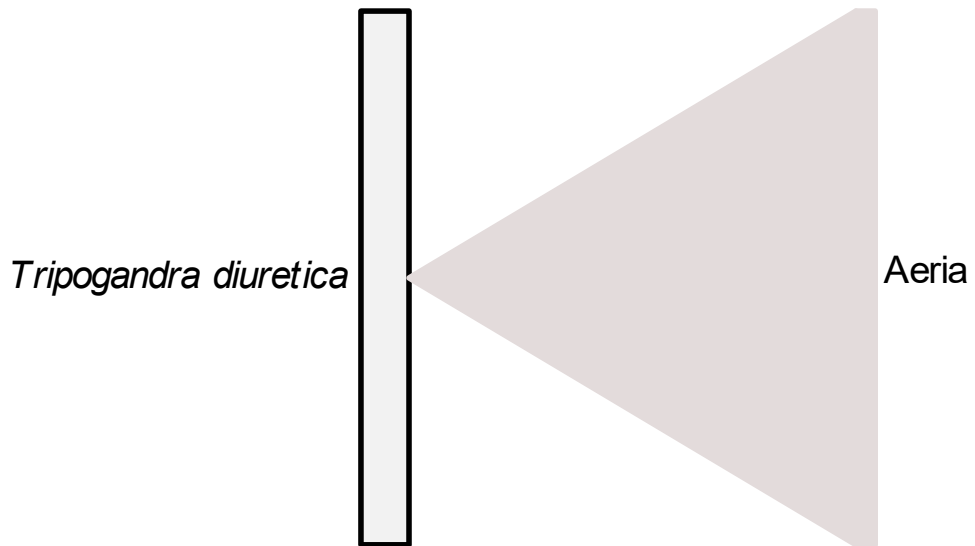
2p28 2017



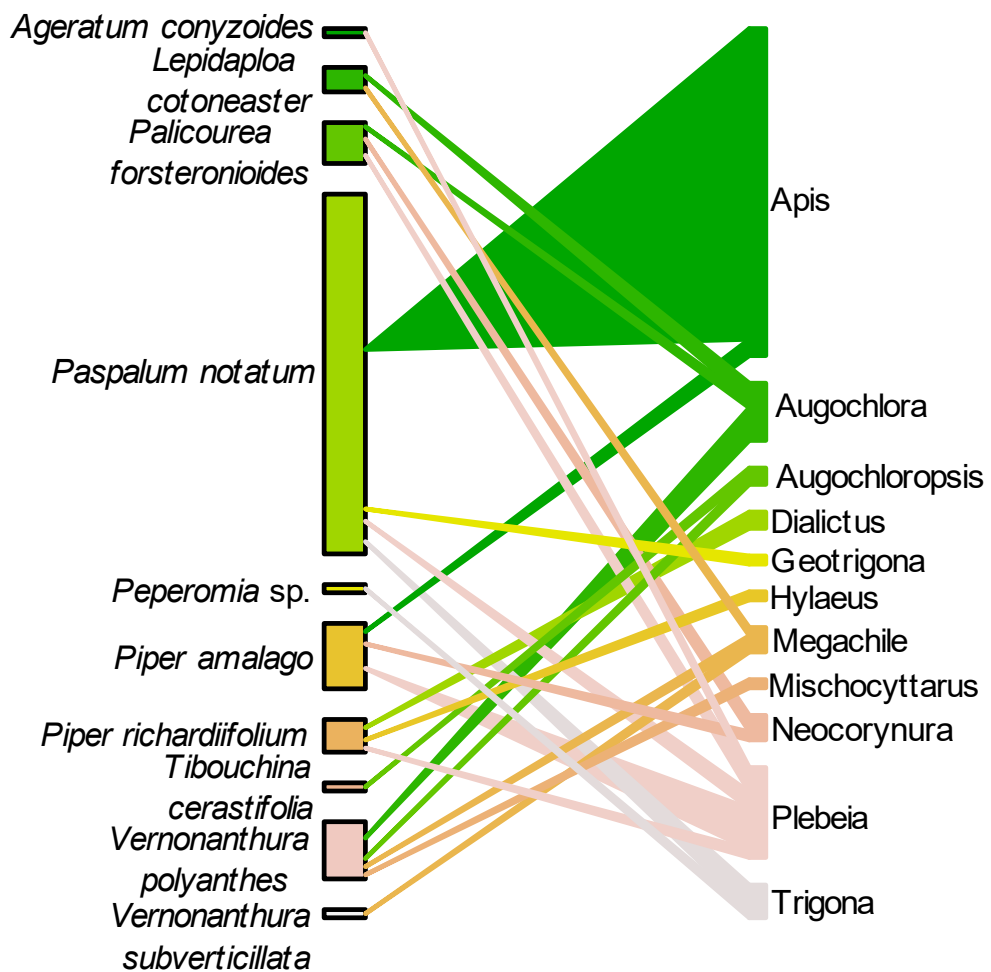
2p48 2017



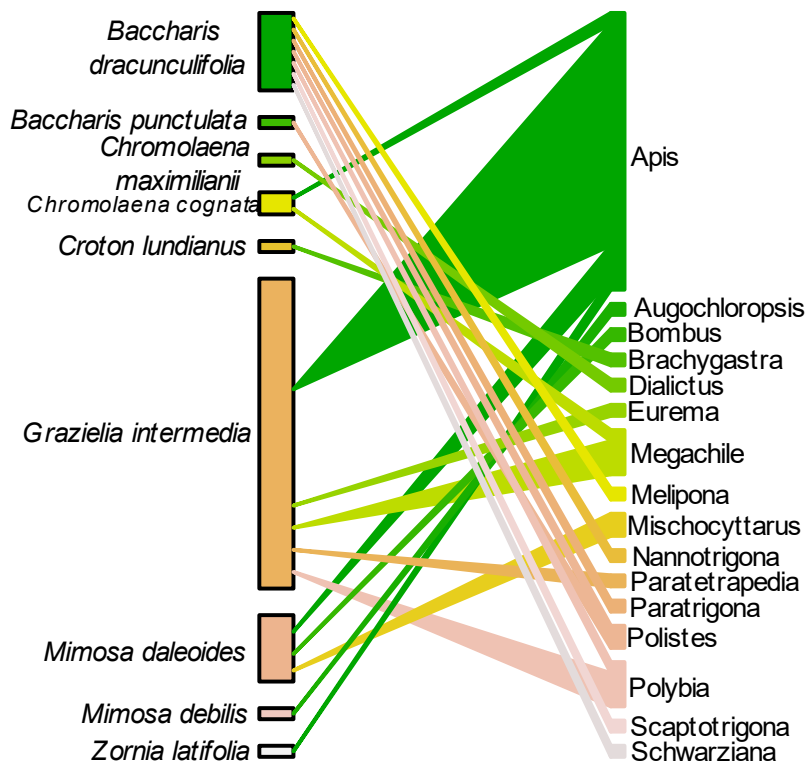
3p7 2017



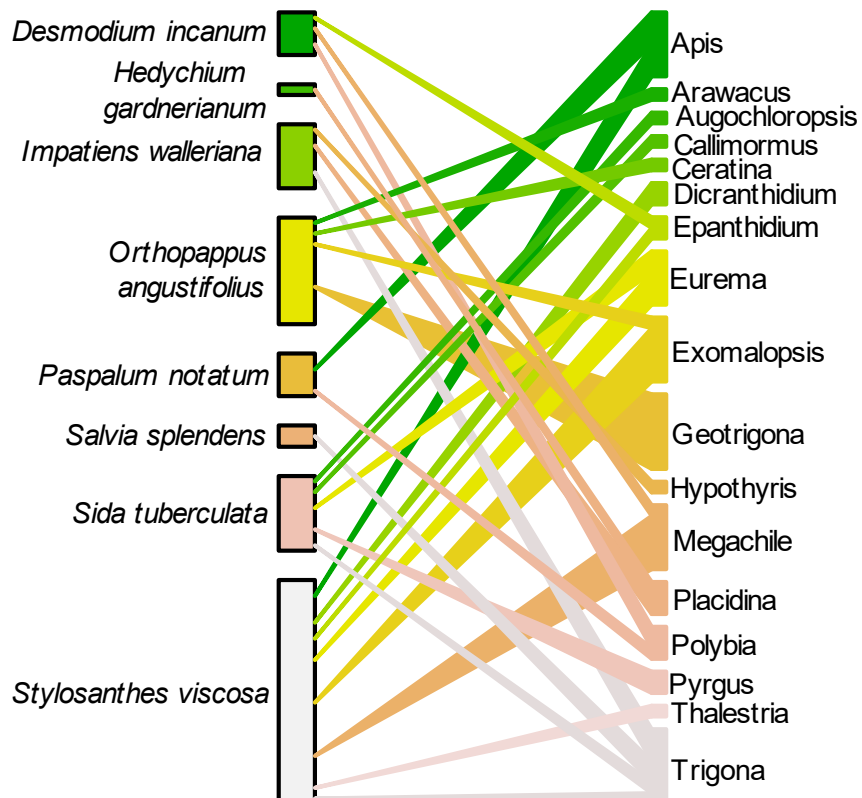
3p16 2017



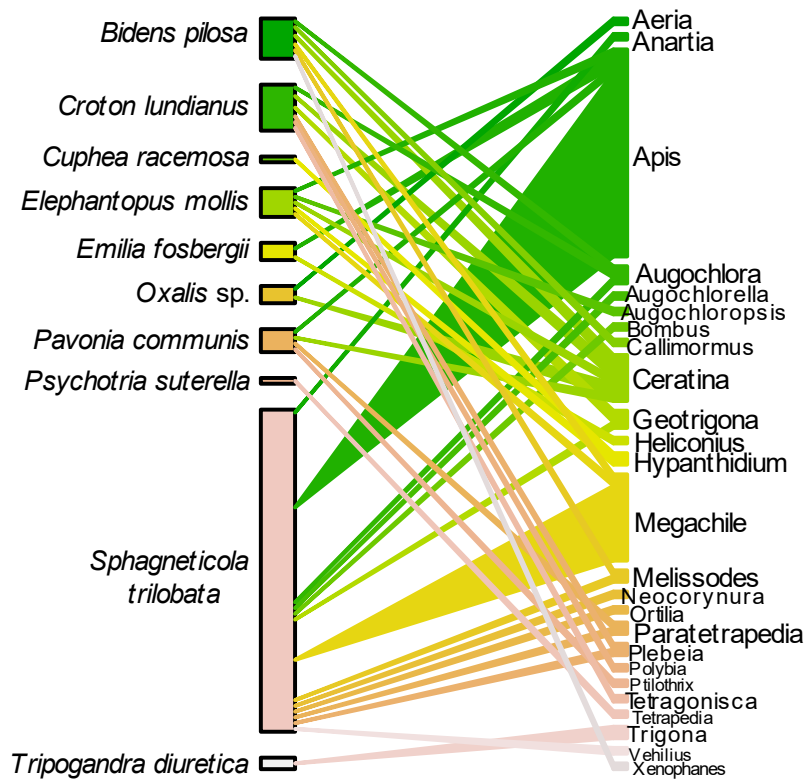
3p60 2017



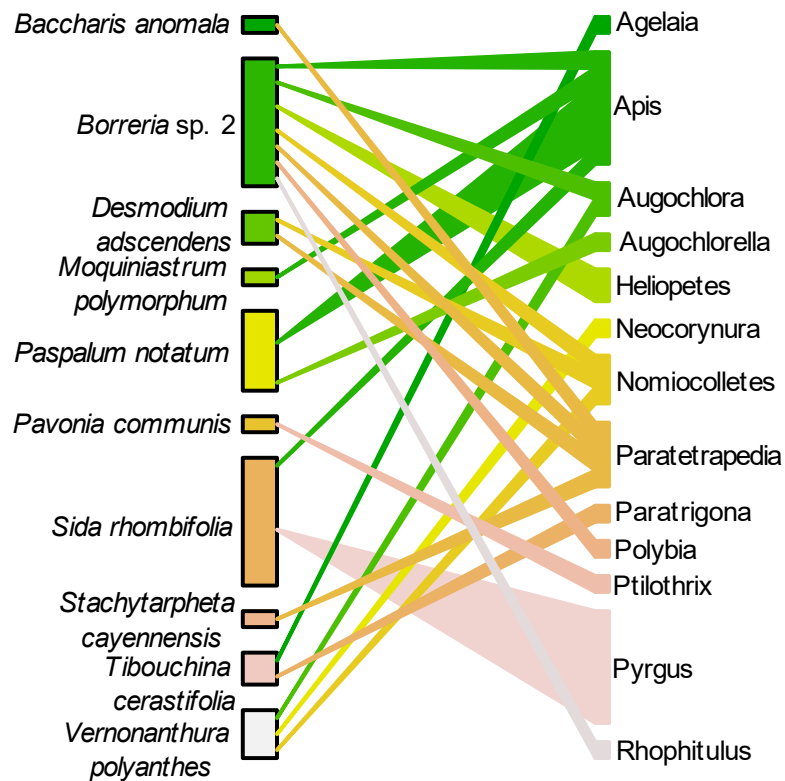
3p69 2017



4p48 2017



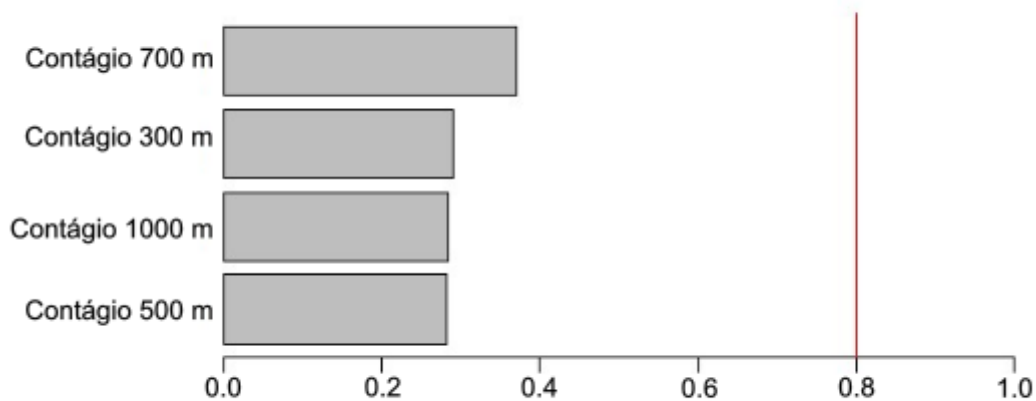
9p28 2017



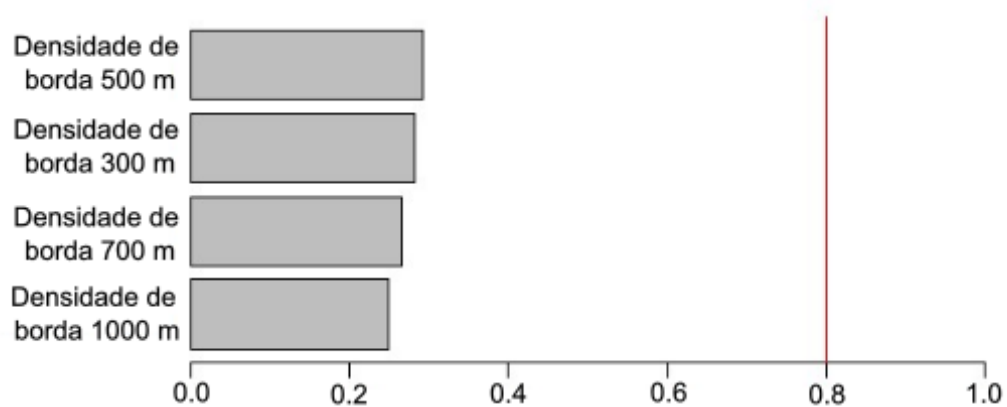
Apêndice 8

Gráficos dos valores médios de importância dos termos dos modelos analisados relativos às escalas de efeito da paisagem.

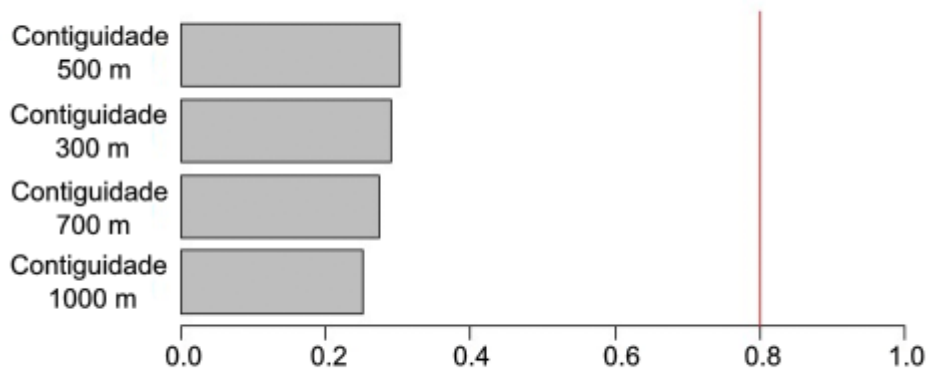
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de plantas ~ Contágio da paisagem



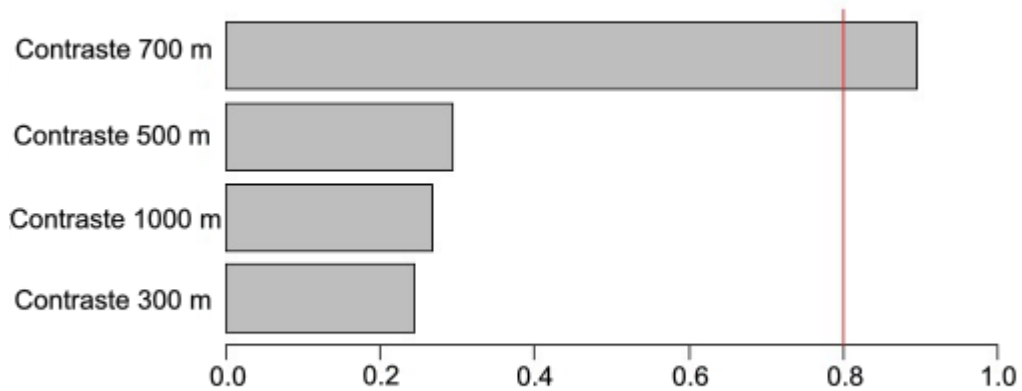
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de plantas ~ Densidade de borda da paisagem



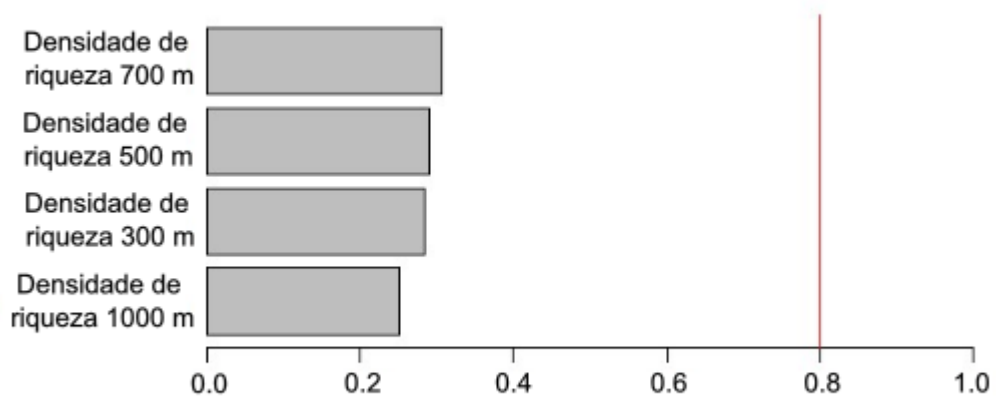
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de plantas ~ Contiguidade da paisagem



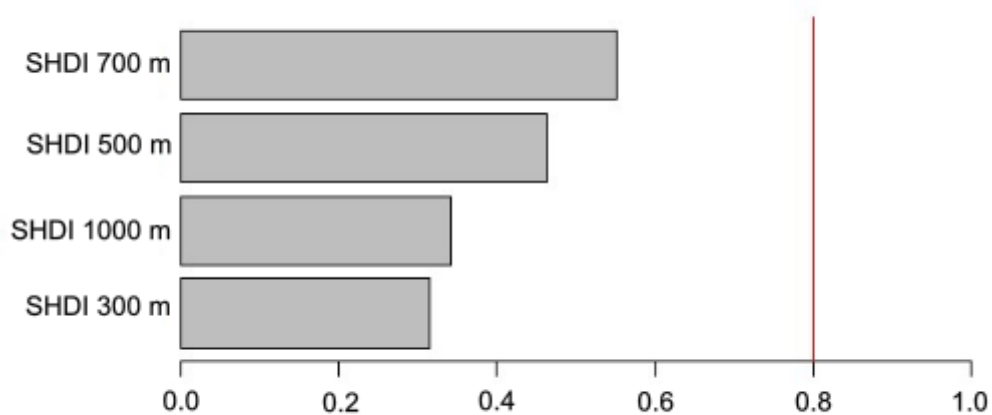
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de plantas ~ Contraste da paisagem



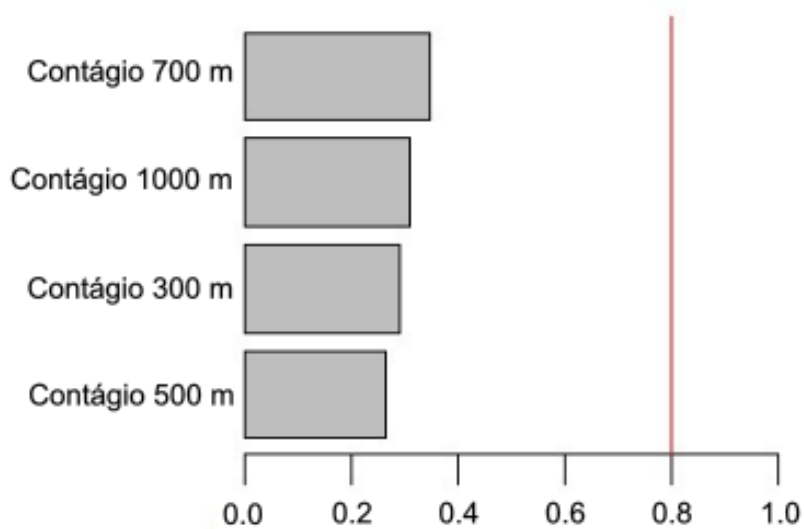
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de plantas ~ Densidade de riqueza da paisagem



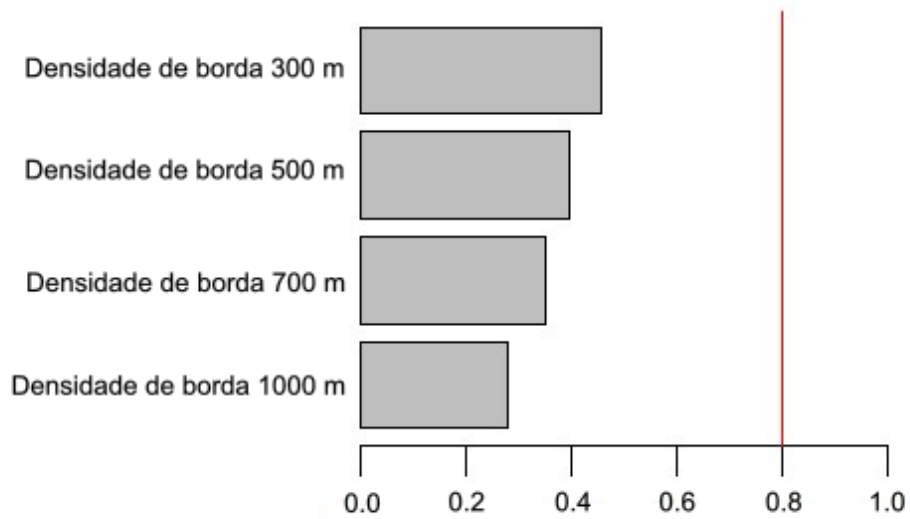
Valor médio de importância dos termos do modelo de Dispersão funcional de plantas ~ SHDI da paisagem



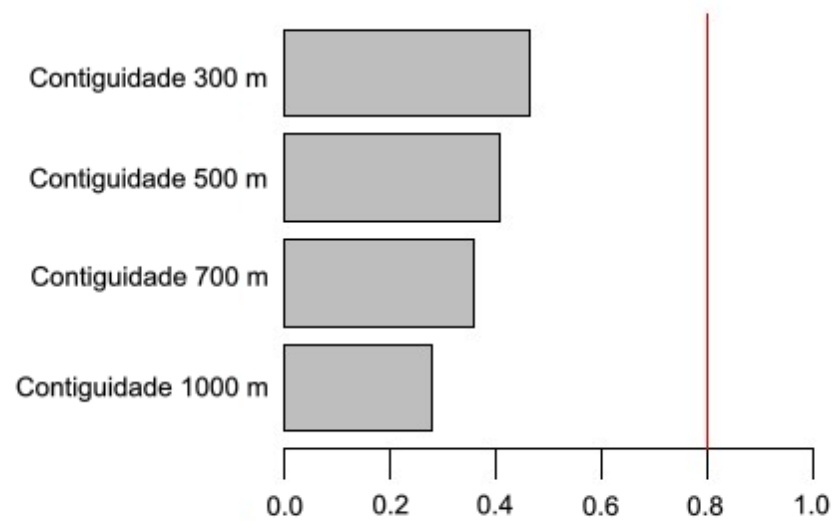
Valor médio de importância dos termos do modelo de Dispersão funcional de insetos ~ Contágio da paisagem



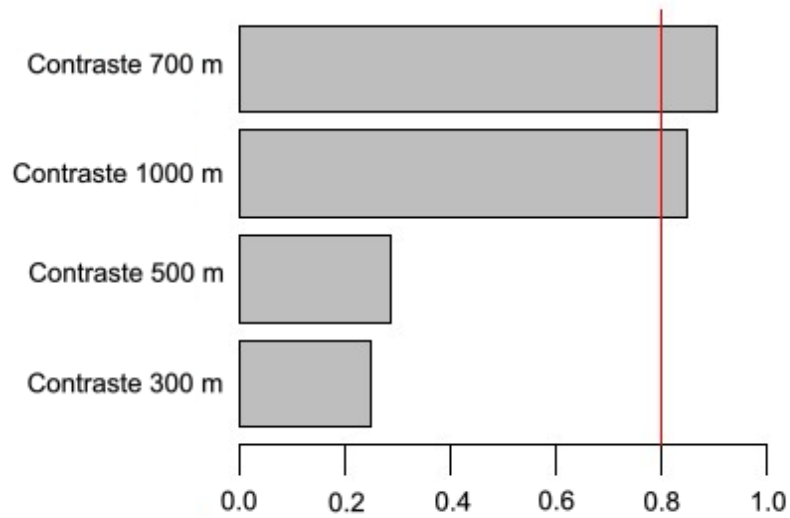
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de insetos ~ Densidade de borda da paisagem



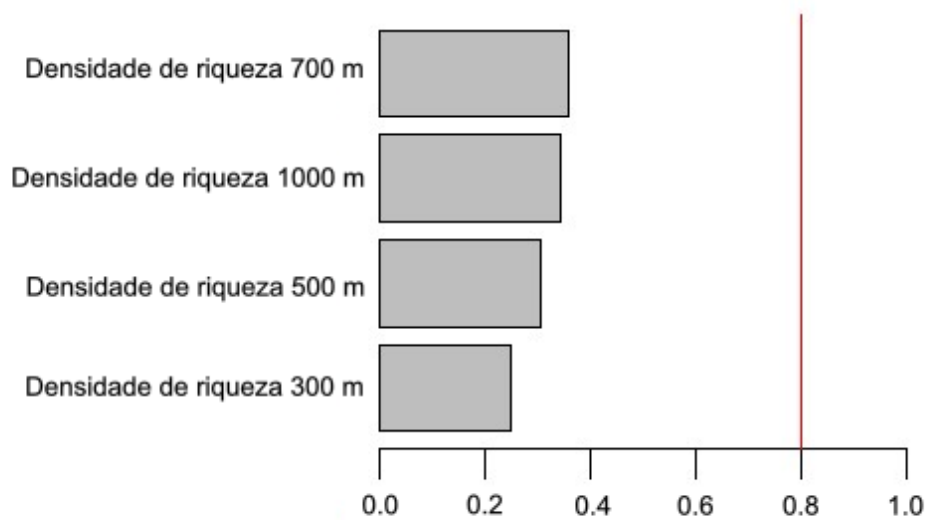
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Dispersão funcional de insetos ~ Contiguidade da paisagem



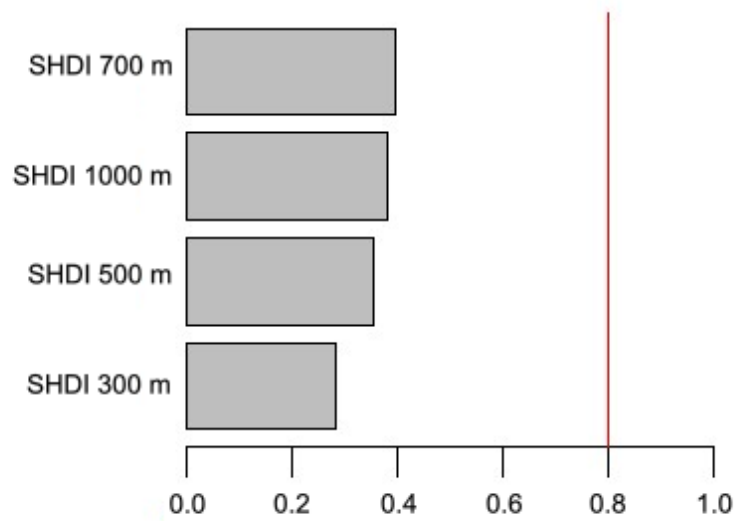
Valor médio de importância dos termos do modelo de Dispersão funcional de insetos ~ Contraste da paisagem



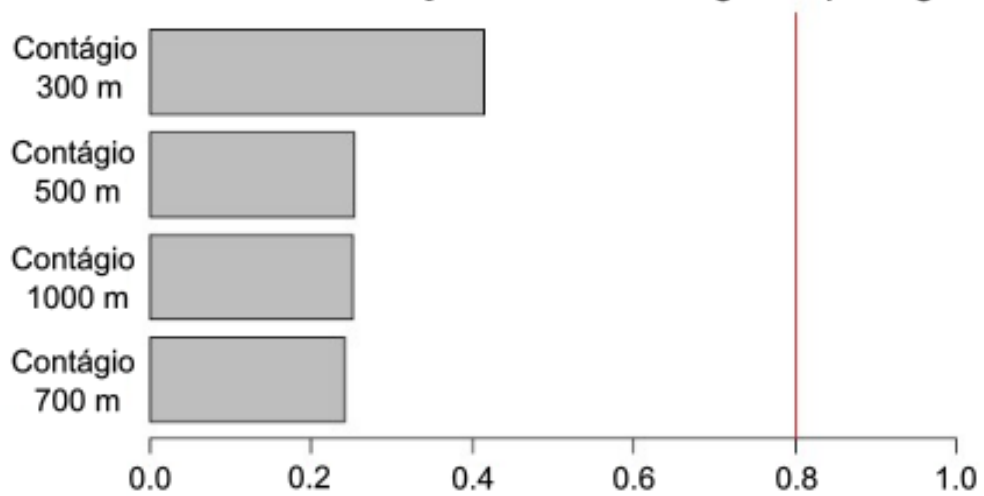
Valor médio de importância dos termos do modelo de Dispersão funcional de insetos ~ Densidade de riqueza da paisagem



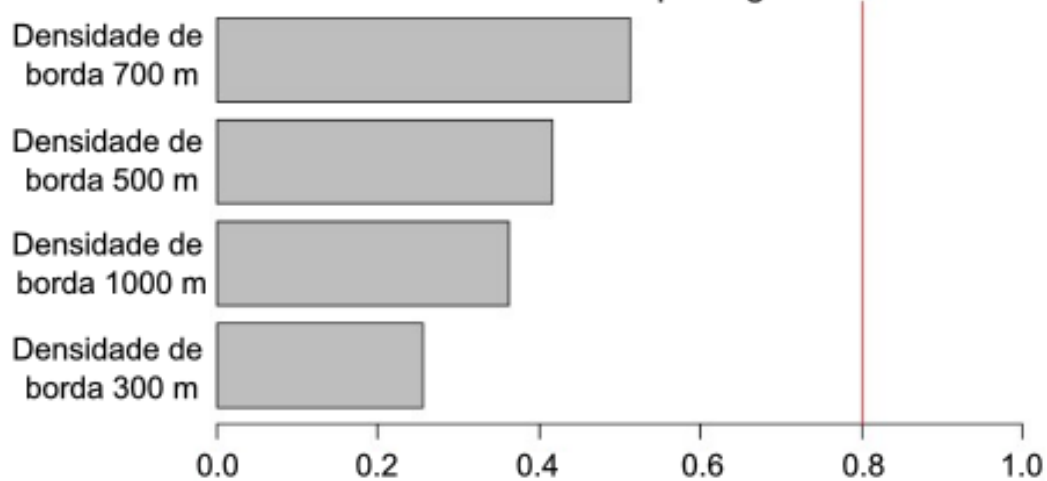
Valor médio de importância dos termos do modelo de Dispersão funcional de insetos ~ SHDI da paisagem



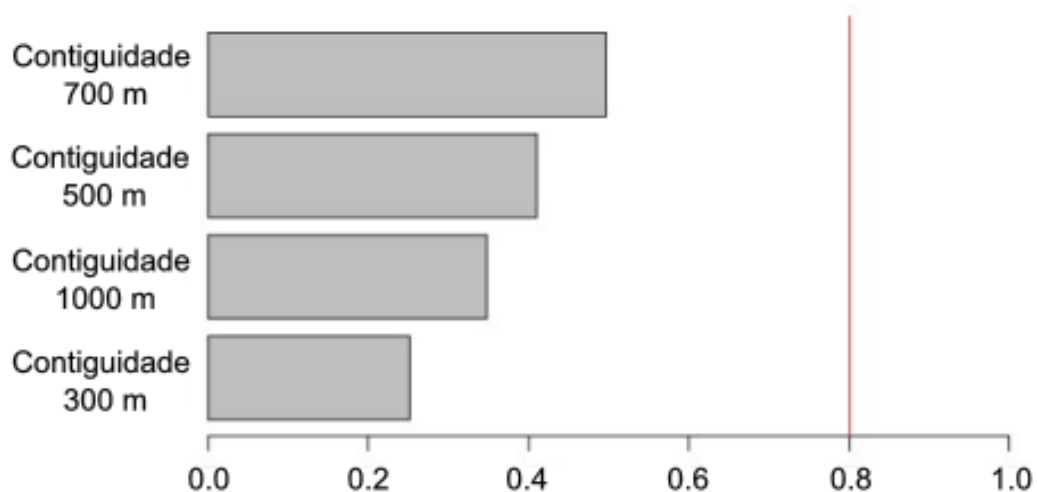
Valor médio de importância dos termos do modelo de Assimetria da rede de visitação floral ~ Contágio da paisagem



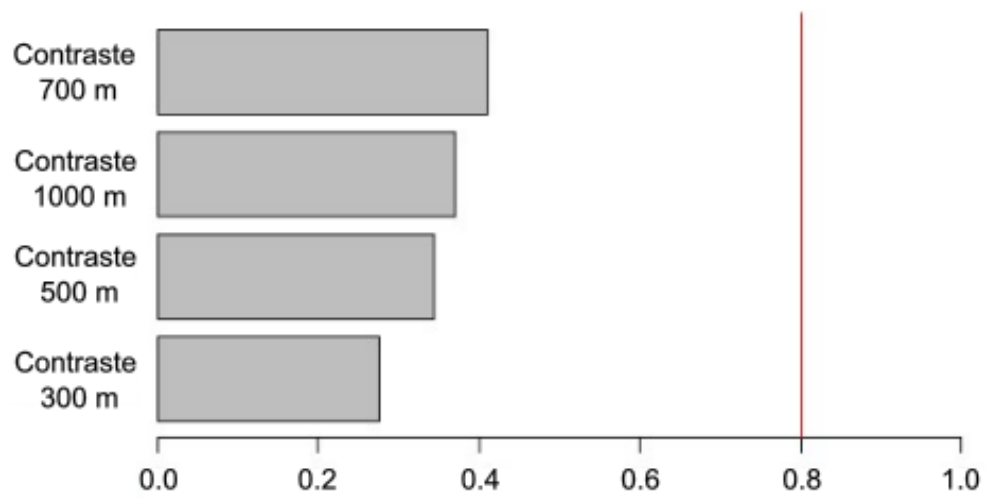
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Assimetria da rede de visitação floral ~
densidade de borda da paisagem



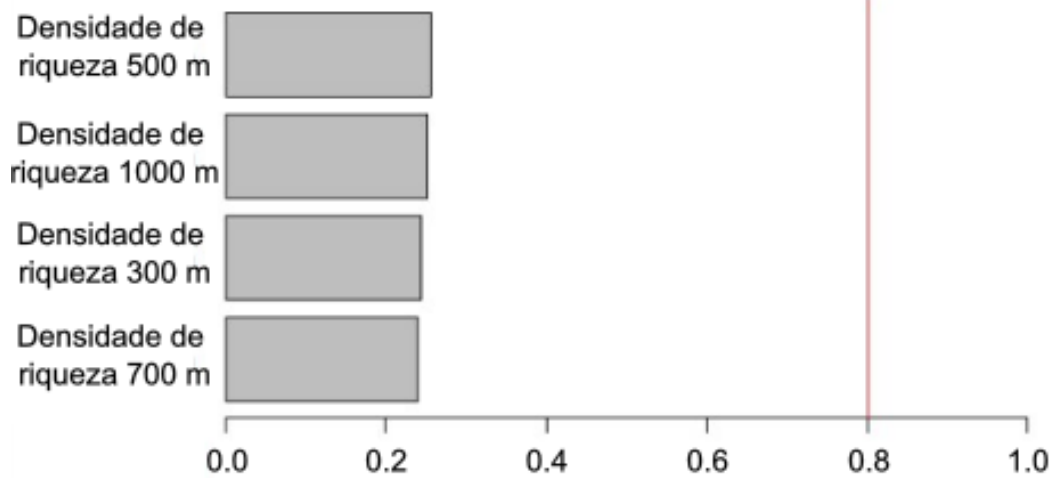
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Assimetria da rede de visitação floral ~ Contiguidade da paisagem



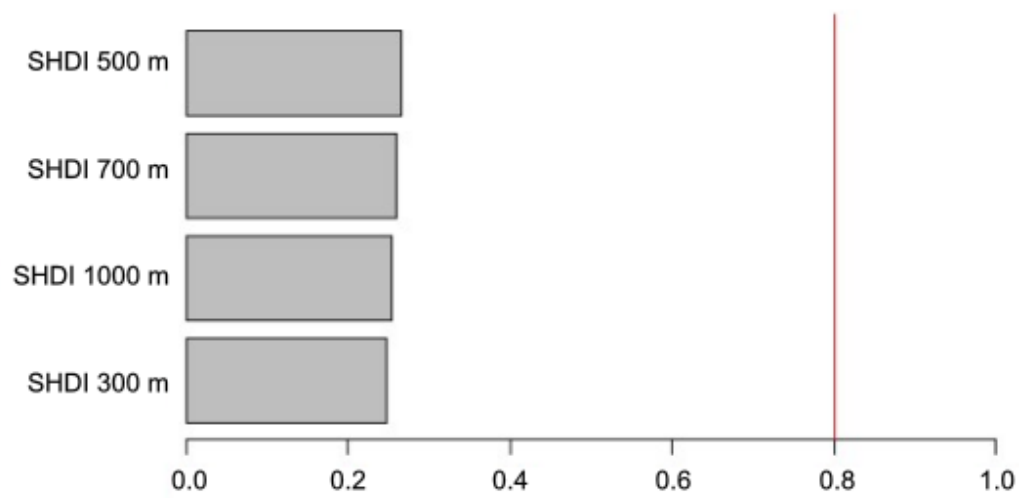
Valor médio de importância dos termos do modelo de Assimetria da rede de visitação floral ~ Contraste da paisagem



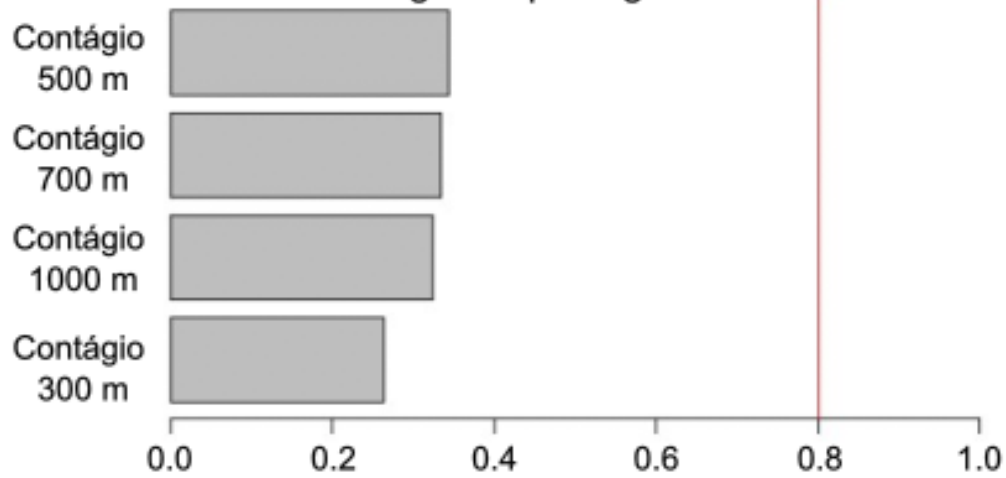
Valor médio de importância dos termos do modelo de Assimetria da rede de visitação floral ~ densidade de riqueza da paisagem



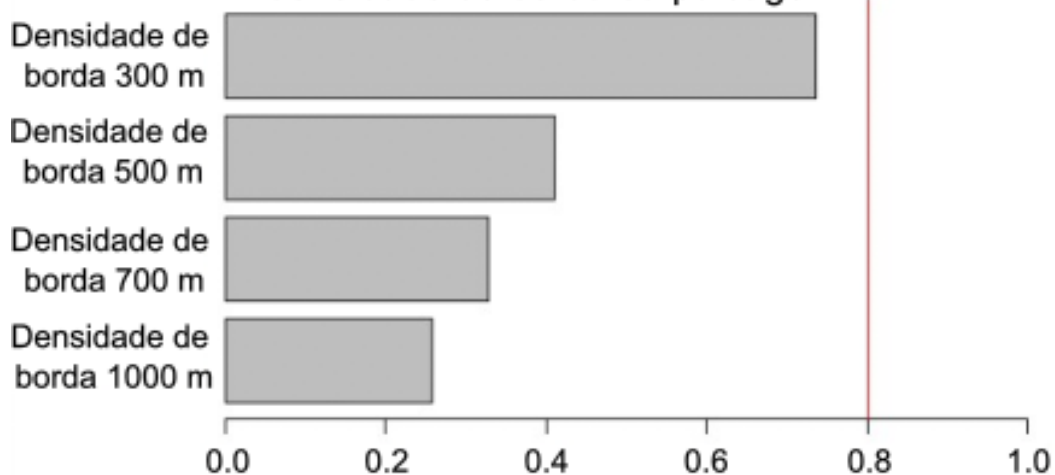
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Assimetria da rede de visitação floral ~ SHDI da paisagem



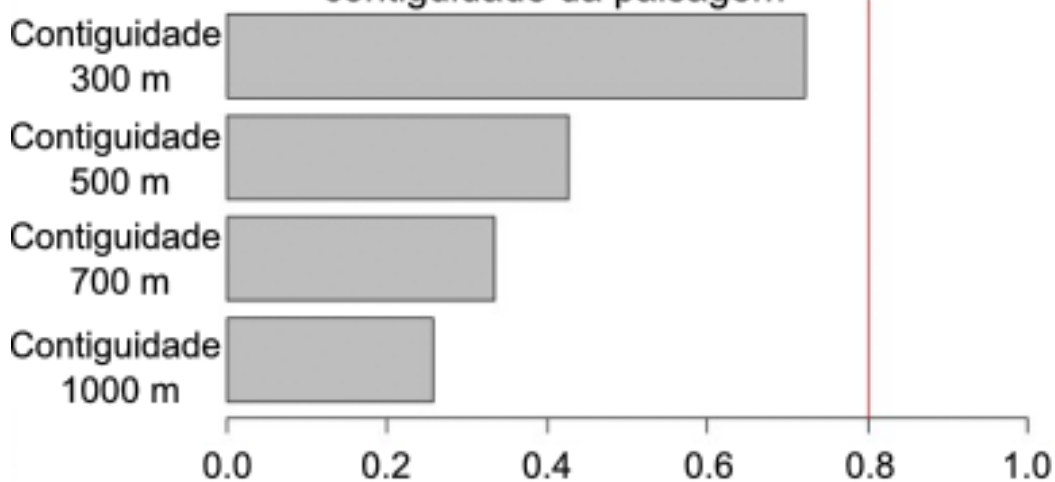
Valor médio de importância dos termos do modelo de
NODF ponderado da rede de visitação floral ~
Contágio da paisagem



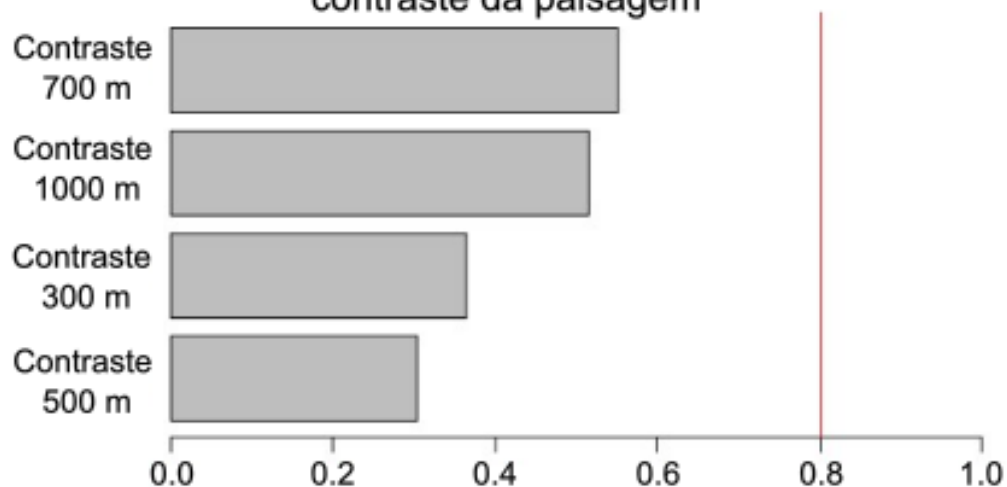
Valor médio de importância dos termos do modelo de
NODF ponderado da rede de visitação floral ~
densidade de borda da paisagem



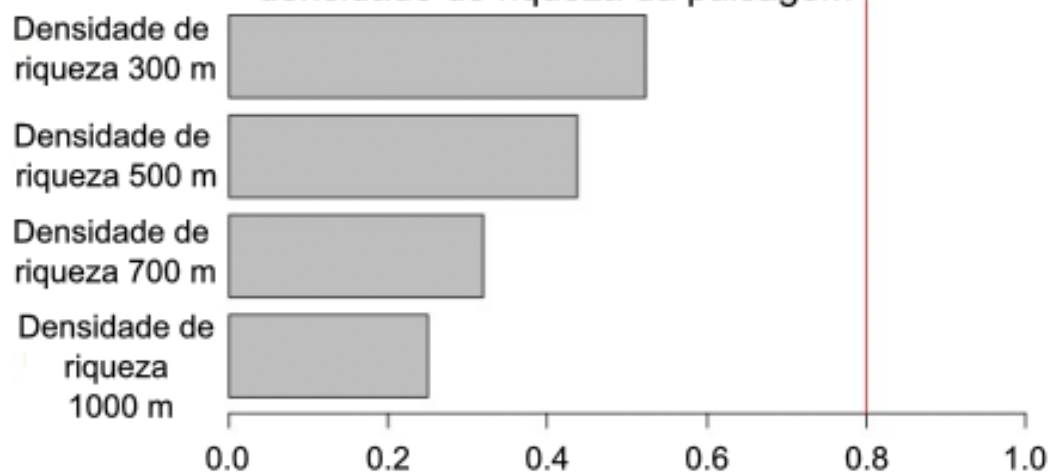
Valor médio de importância dos termos do modelo de
NODF ponderado da rede de visitação floral ~
contiguidade da paisagem



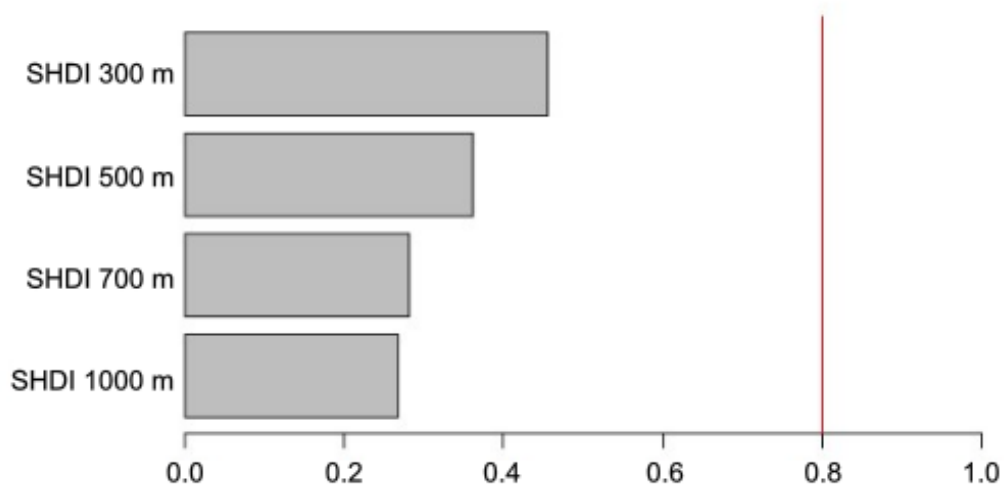
Valor médio de importância dos termos do modelo de
NODF ponderado da rede de visitação floral ~
contraste da paisagem



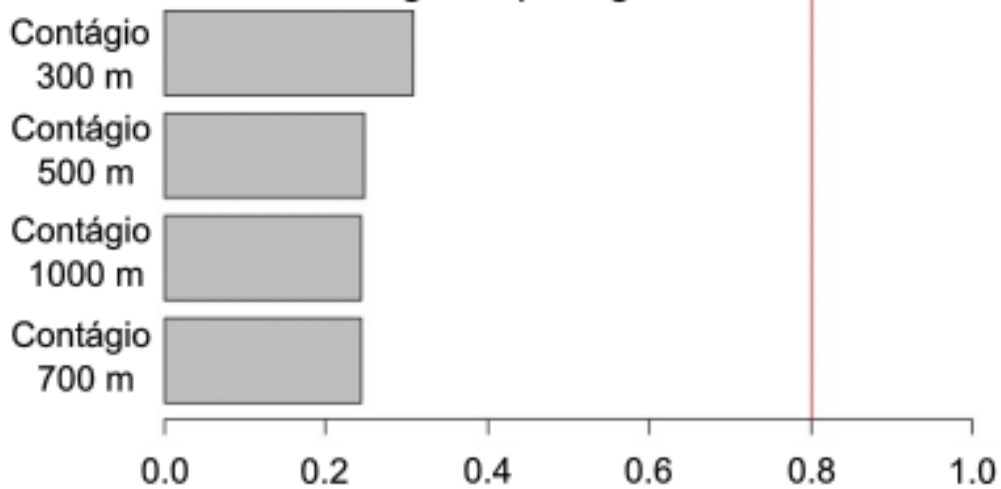
Valor médio de importância dos termos do modelo de
NODF ponderado da rede de visitação floral ~
densidade de riqueza da paisagem



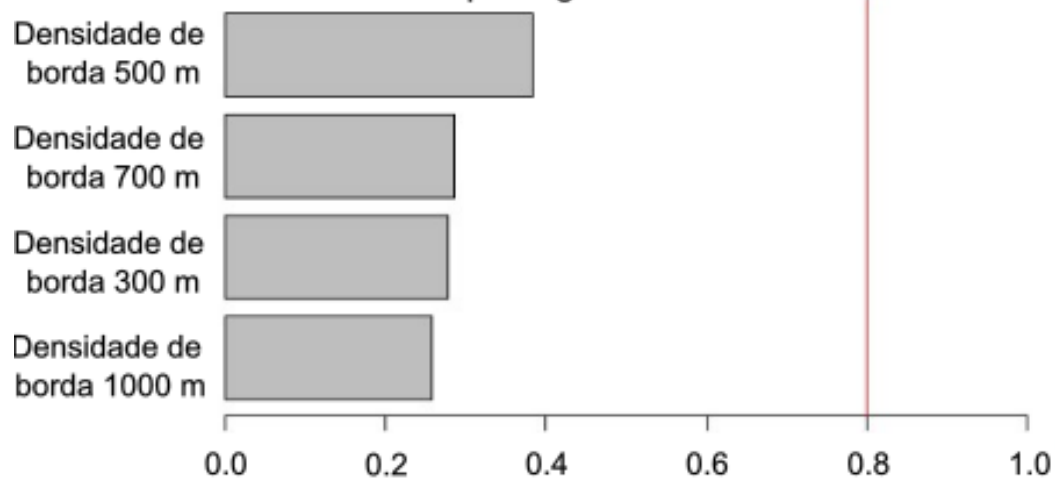
Valor médio de importância dos termos do modelo de NODF ponderado da rede de visitação floral ~ SHDI da paisagem



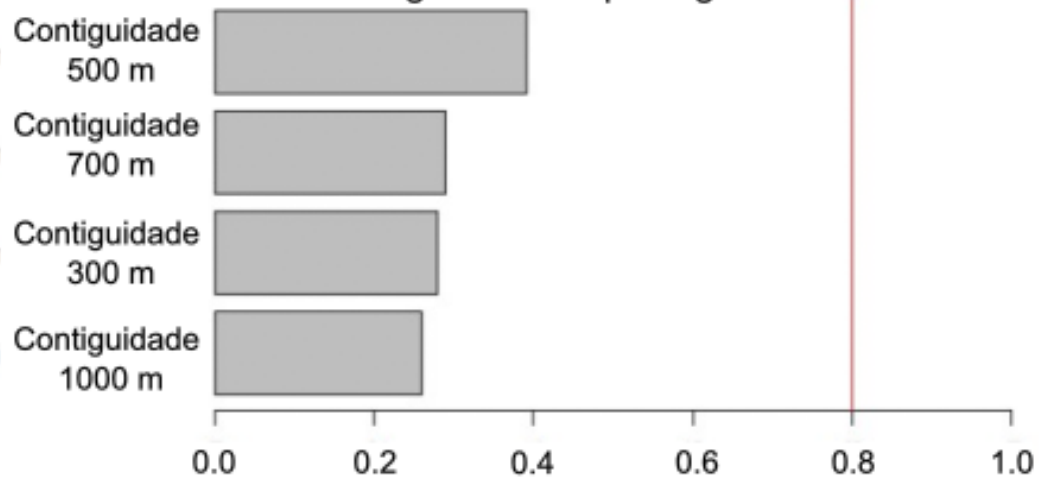
Valor médio de importância dos termos do modelo de Conectância da rede de visitação floral ~ Contágio da paisagem



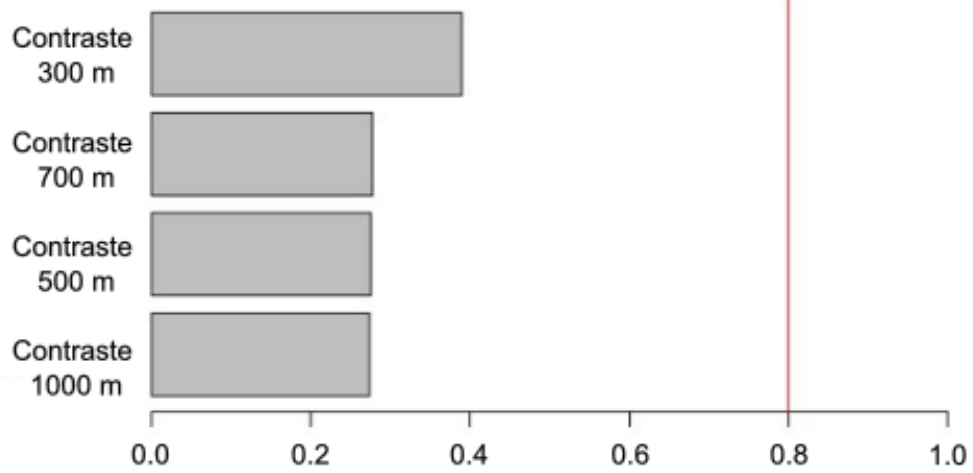
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Conectância da rede de visitação floral ~ Densidade de borda da
paisagem



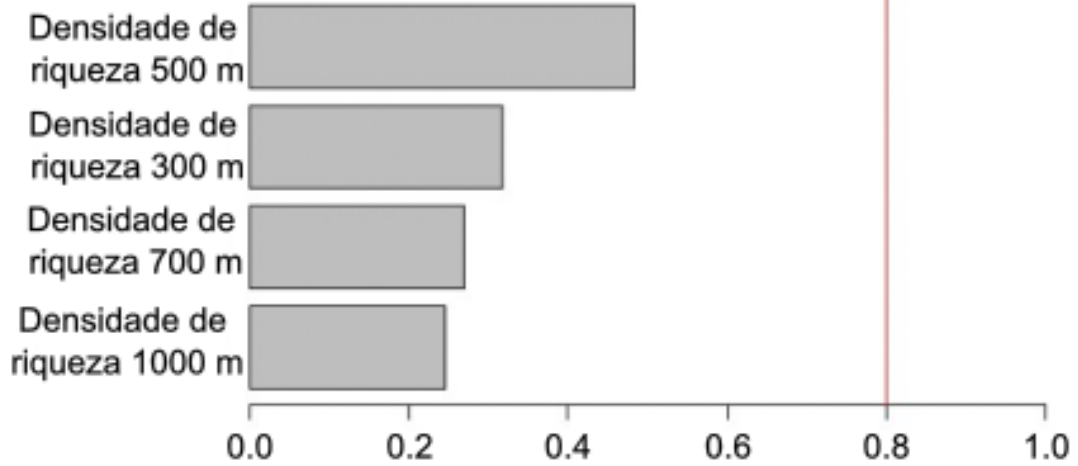
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Conectância da rede de visitação floral ~
Contiguidade da paisagem



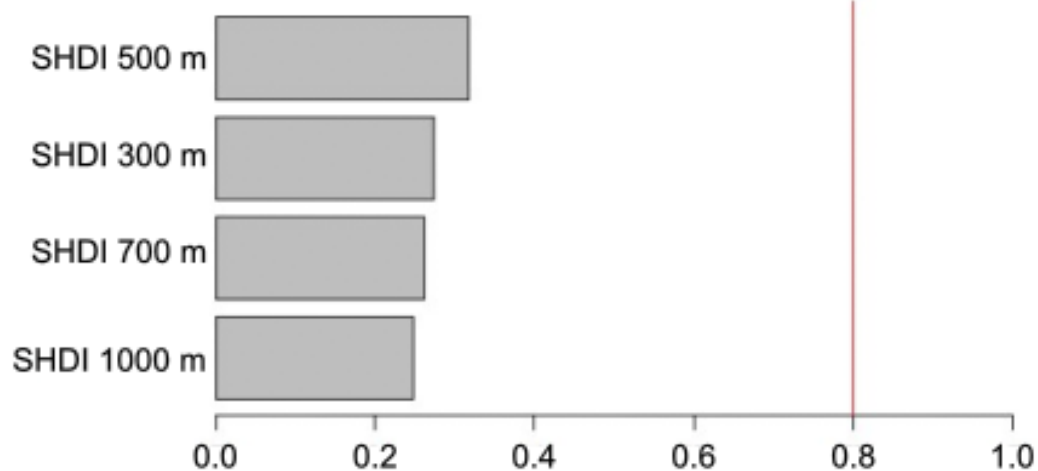
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Conectância da rede de visitação floral ~ Contraste da paisagem



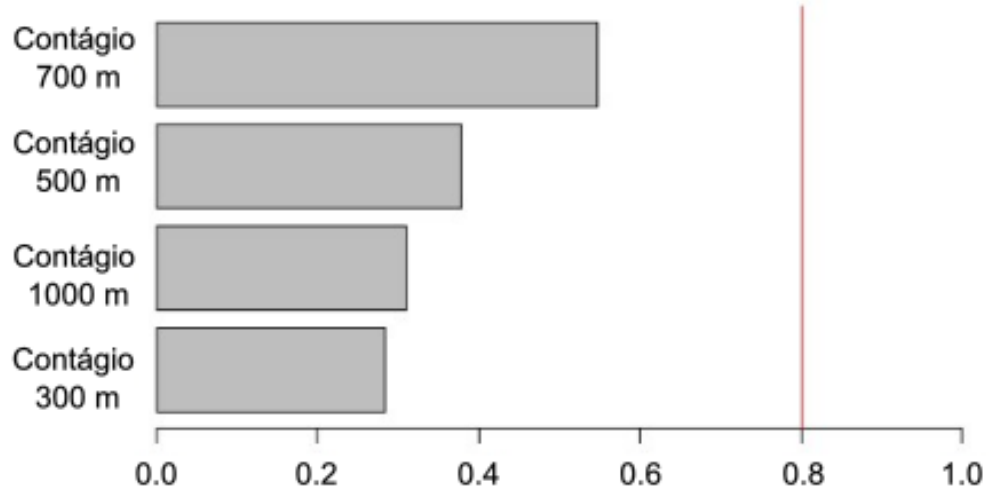
Valor médio de importância dos termos do modelo de
Conectância da rede de visitação floral ~
Densidade de riqueza da paisagem



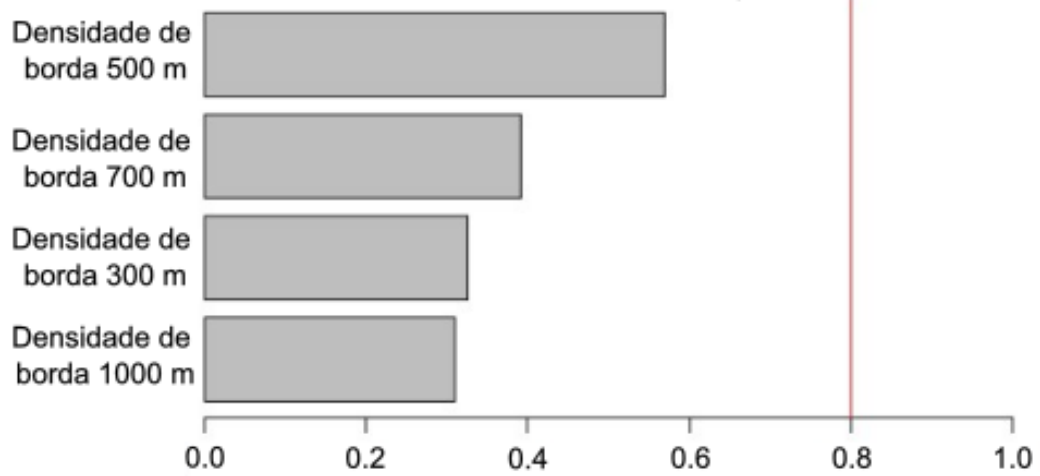
Valor médio de importância dos termos do modelo de Conectância da rede de visitação floral ~ SHDI da paisagem



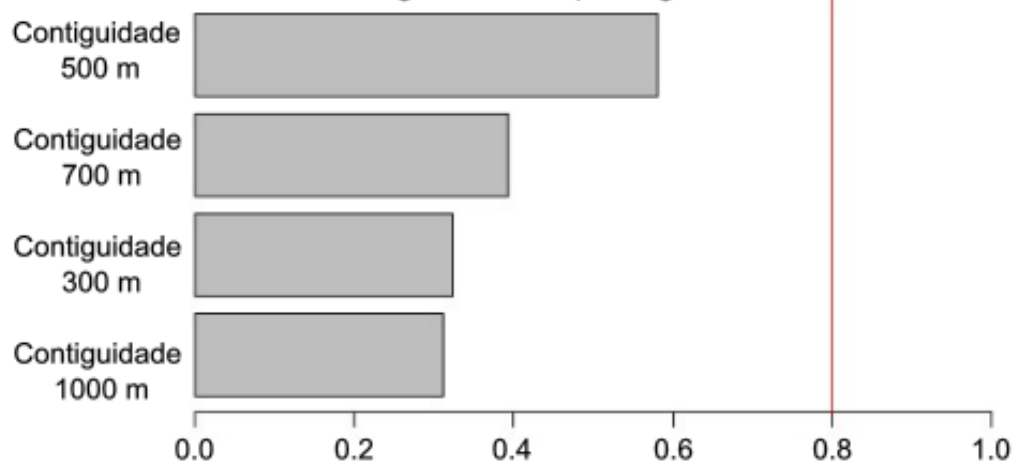
Valor médio de importância dos termos do modelo de H2' da rede de visitação floral ~ Contágio da paisagem



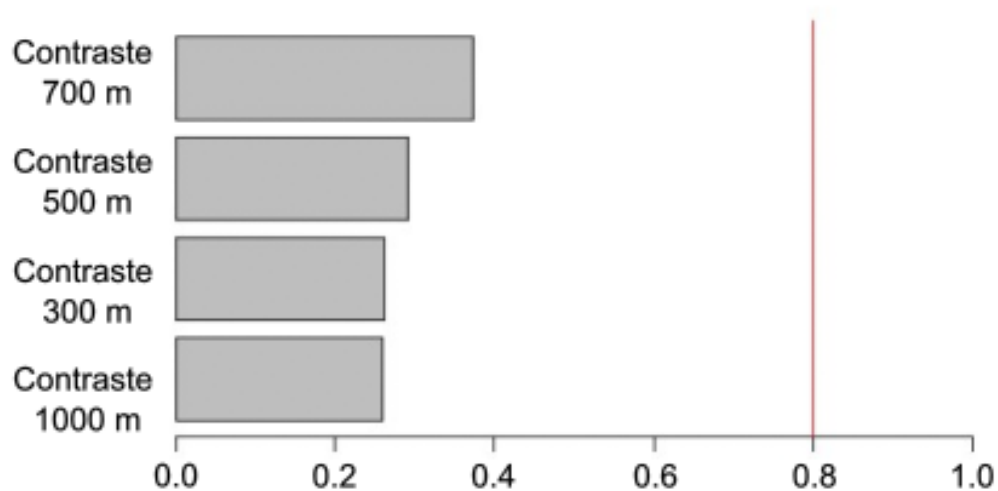
Valor médio de importância dos termos do modelo de
H2' da rede de visitação floral ~
Densidade de borda da paisagem



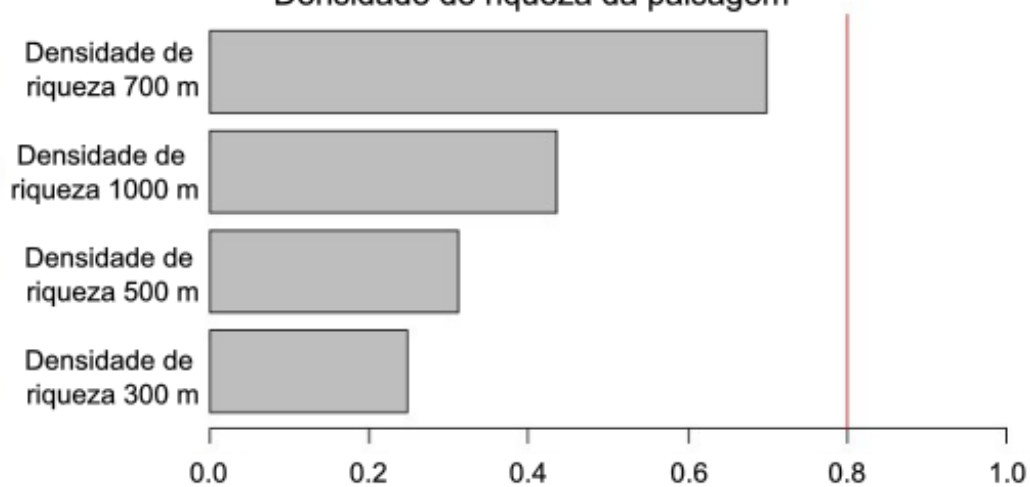
Valor médio de importância dos termos do modelo de
H2' da rede de visitação floral ~
Contiguidade da paisagem



Valor médio de importância dos termos do modelo de $H2'$ da rede de visitação floral ~ Contraste da paisagem



Valor médio de importância dos termos do modelo de $H2'$ da rede de visitação floral ~ Densidade de riqueza da paisagem



Valor médio de importância dos termos do modelo de
H2' da rede de visitação floral ~ SHDI da paisagem

