

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

RENATA DOS REIS BRITO

**A influência das características funcionais nas propriedades estruturais
das redes de interações entre abelhas e plantas e na especialização das
espécies**

Belém,
2024

RENATA DOS REIS BRITO

**A influência das características funcionais nas propriedades estruturais
das redes de interações entre abelhas e plantas e na especialização das
espécies**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia.
Área de concentração: Biodiversidade e Conservação.
Linha de Pesquisa: Ecologia animal

Orientador(a): Dra. Tereza Cristina Giannini
Co-orientador(a): Dr. Felipe Martello Ribeiro

Belém,
2024

FOLHA DE APROVAÇÃO

RENATA DOS REIS BRITO

**A influência das características funcionais nas propriedades estruturais
das redes de interações entre abelhas e plantas e na especialização das
espécies**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

DRA. TEREZA CRISTINA GIANNINI, Universidade
Federal do Pará (Presidente)

DR. ROGÉRIO ROSA DA SILVA
Universidade Federal do Pará

**DRA. LUISA MAFALDA GIGANTE RODRIGUES
CARVALHEIRO**
..... Universidade Federal de Goiás

DR. RAFAEL CABRAL BORGES (suplente)
Instituto Tecnológico Vale

Aprovada em:
Local de defesa:

À minha mãe, por mim e por ela.

"Although numbers don't lie, it's rather annoying that they don't tell us everything we need to know. Maybe it's because 99% of all statistics only tell us 49% of the story."

-Ron DeLegge II

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaria de deixar claro que este trabalho foi muito prazeroso de realizar. Meu primeiro trabalho científico na ecologia, com interações, com funcional, com análises estatísticas e linguagem R. Foram vários mundos novos para desbravar ao mesmo tempo. Errei algumas vezes, tive que refazer algumas coisas, pensar em alternativas, porém, ao fim de tudo, me sinto orgulhosa pelo que aprendi e foi concretizado. Deus foi tão bom comigo que colocou pessoas incríveis em minha vida e a Ele eu sou grata. Apesar de, em alguns momentos, sentir ansiedade e medo, porém nenhum deles me adoeceram, porque eu tive acolhimento, excelentes orientações, ajuda, amor e exercícios físicos.

Dito isso, gostaria de primeiro agradecer a minha orientadora, Tereza Giannini, que com sua gentileza, generosidade, oratória e grande conhecimento me inspirou, auxiliou e me guiou com maestria por essa jornada de dois anos. Sou muito grata por essa escolha e pela oportunidade que ela me deu.

Agradeço ao meu coorientador, Felipe Martello, mesmo estando de mudança e com a vida revirada conseguiu me ajudar com excelentes *insights* e ainda me ensinou muito sobre análises, estatística e R.

Aos ilustres pesquisadores Rafael Borges, Adrian Gonzalez e Erlane Cunha que me socorreram quando eu estava me afogando em ansiedade. Em um momento crucial, pegaram na minha mão e me conduziram pelo caminho da luz. Em especial, ao Rafael Borges que ainda leu este trabalho ao final. Aos pesquisadores, Ulysses Guimarães, Tereza Giannini, Carol Andrino, Rafael Borges e Rafael Gomes, os quais fizeram a coleta em campo, o que me permitiu escrever este trabalho.

Ao grupo de interações e serviços ecossistêmicos composto por pesquisadores excepcionais que sempre foram muito gentis, acolhedores e com ótimas sugestões sobre as apresentações. Aprendi muito observando-os e escutando-os. Às meninas do grupo de interações, “as alunas”, Luiza, Débora e Tamires, pelo apoio mútuo durante esse tempo.

Aos meus amigos, família e namorado, cujo apoio me fortaleceram, cada um com seu jeito. Teria sido muito difícil sem eles ali.

À Universidade Federal do Pará que tem sido minha segunda casa há uns 7 anos. À CAPES e ao Instituto Tecnológico Vale pela bolsa e o financiamento da pesquisa, respectivamente.

Por último, à minha mãe, Maria do Carmo. Não existem palavras para expressar a quão grandiosa ela é em minha vida. Sonho com o dia que irei retribuir tudo que ela fez e faz por mim.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMO	1
<i>ABSTRACT</i>	2
INTRODUÇÃO	3
MATERIAL E MÉTODOS	6
ÁREA DE ESTUDO	6
COLETA DE DADOS	6
ANÁLISE DE DADOS	7
CONCLUSÕES GERAIS	20
APÊNDICES	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo na Floresta Nacional de Carajás (PA) com os 14 pontos amostrais. Fonte: Mapbiomas coleção 6.....	6
Figura 2. Índices Diversidade de Interações (ID) e Homogeneidade de Interações (IE) em cada ponto amostral.....	10
Figura 3. Distribuição das espécies de abelhas nos pontos amostrais e valores de especialização d' . No topo estão as espécies que mais ocorrem nos 14 pontos amostrados e à direita são os pontos amostrais com maior riqueza de espécies de plantas amostrada. Códigos podem ser encontrados no Apêndice 6.....	11
Figura 4. Distribuição das espécies de plantas nos pontos amostrais e valores de especialização d' . No topo estão as espécies que mais ocorrem nos 14 pontos amostrados e à direita são os pontos amostrais com maior riqueza de espécies de plantas amostradas. Códigos podem ser encontrados no Apêndice 7.....	12
Figura 5. Relação positiva entre o tamanho da rede e a diversidade de interações (ID) das redes planta-abelha.	13
Figura 6. Relação positiva entre a dispersão funcional de plantas e a diversidade de interações-ID (corrigido pelo tamanho da rede) das redes planta-abelha.....	14

RESUMO

As interações dentro de uma rede são reguladas por diversos fatores, incluindo as características funcionais das espécies, as quais podem prever a estrutura da rede e ainda definir os pares de parceiros interagentes. O objetivo central do presente estudo é avaliar a influência das características funcionais nas propriedades estruturais das redes de interações entre planta-abelha e na especialização das espécies em áreas de floresta na Amazônia Oriental. Para isso, foram coletados dados sobre interações em 14 pontos amostrais na Floresta Nacional de Carajás (Pará). Para descrever a estrutura topológica da rede foram utilizadas as métricas *Diversidade de interações* (ID, da sigla em inglês) e *Homogeneidade de interações* (IE), e para determinar quais espécies são generalistas ou especialistas, foi utilizada a métrica de especialização d' . A diversidade funcional foi representada pelas métricas: *Dispersão Funcional* (FDis) e *Regularidade Funcional* (FEve). Para avaliar se há diferença nas métricas ID e IE, considerando as 14 redes analisadas, foram feitas análises de Z-score. Para avaliar se e quais atributos funcionais das abelhas estão associados à especialização, foram utilizados modelos lineares para os atributos numéricos e ANOVA para os atributos categóricos. Para avaliar a relação de ID e IE com a diversidade funcional, foi feita uma seleção de modelos lineares corrigida pelo tamanho da rede, com as métricas de rede como variáveis respostas e as métricas funcionais como preditoras. Foram registradas 60 espécies de abelhas, visitando 74 espécies de plantas. Não houve diferença significativa da métrica ID e IE entre os pontos amostrais, o que indica que a diversidade e a homogeneidade de interações não variam entre os mesmos. A espécie *Borreria ocymifolia* (Roem. & Schult.) Bacigalupo & E.L.Cabral possui, em média, valores baixos de especialização d' sendo também a mais comum, ocorrendo em 11 dos 14 pontos amostrados. Outras seis espécies de plantas mais comuns que foram identificadas também possuem, em média, valores baixos de especialização d' , o que pode indicar uma seleção de parceiros oportunistas em comparação a outras espécies nas redes. A espécie *Trigona guianae* Cockerell, 1910 possui, em média, valores intermediários de especialização d' sendo também a mais comum, ocorrendo em todos os pontos amostrados. As características funcionais não tiveram relação com a especialização d' , seja de plantas ou abelhas. Neste estudo, a dispersão funcional das plantas foi positivamente relacionada com a diversidade de interações, sugerindo que as comunidades de plantas são funcionalmente mais singulares. O tamanho da rede também foi positivamente relacionado com a diversidade de interações. Destaca-se a importância de considerar a diversidade e a função das espécies nas redes de interação entre abelhas e plantas para a compreensão da ecologia dessas relações.

Palavras-chave: Diversidade, Funcional, Interações, Redes ecológicas.

ABSTRACT

Interaction networks are regulated by several factors, including functional traits, which one can predict network structural properties and also define the interaction partners pairs. The present study aims to evaluate the influence of functional traits on the structural properties of plant-bee networks and species specialization in forest areas of the eastern Amazon. Interaction data were collected at 14 sampling sites in the Carajás National Forest (Pará; Amazon biome). We used the metrics Interaction Diversity (ID) and Interaction Evenness (IE) to describe the network topological structure. The specialization metric d' was used to determine whether species were generalists or specialists. The functional diversity was represented by the following metrics: Functional Dispersion (FDis) and Functional Evenness (FEve). Z-score analyses were performed to assess whether there were differences in the ID and IE metrics considering the 14 networks analyzed. To assess whether and which bee and plant functional traits are associated with specialization, we used linear models for numerical traits and ANOVA for categorical traits. For the assessment of the relationship between ID and IE with functional diversity, we made a selection of linear models corrected for network size, with network metrics as response variables and functional metrics as predictors. We recorded a total of 60 bee species visiting 74 plant species. Our results showed that there was no significant difference in the ID and IE metrics between the sampling sites. This indicates that the diversity and evenness of interactions did not vary between sampling sites. The species *Borreria ocymifolia* (Roem. & Schult.) Bacigalupo & E.L.Cabral has on average low values of specialization d' . It is also the most common plant, occurring in 11 of the 14 sampled sites. Another six more common plant species that were identified also have on average low values of specialization d' , which may be an indication of opportunistic partner selection in comparison to other species in the networks. The species *Trigona guianae* Cockerell, 1910 has an average value of specialization d' . It is also the most common bee, occurring at all sampled sites. Functional traits were not related to the specialization d' of either plants or bees. Functional dispersal of plants was positively related to interaction diversity in this study, suggesting that plant communities are functionally more unique. Network size was also positively related to interaction diversity. In conclusion, it is important to consider the diversity and species functions of bee-plant interaction networks to understand the ecology of these relationships.

Keywords: Diversity, Functional, Interactions, Ecological Networks.

INTRODUÇÃO

Uma das maneiras de se avaliar as interações em uma comunidade e entender os fatores que as influenciam é através da abordagem de redes complexas. Essa abordagem utiliza a teoria dos grafos para descrever os padrões de interações entre grupos de organismos (Ings and Hawes, 2018). Os primeiros estudos com redes de interação para ambientes tropicais analisaram teias alimentares e interações antagonistas, e apenas mais tarde (a partir de 2010) a diversidade de pesquisas com redes aumentou notavelmente, surgindo trabalhos sobre redes mutualísticas, como é o caso das redes de interação entre plantas e seus polinizadores (Cagnolo, 2018). Redes mutualistas, ou seja, redes de interação onde ambos os parceiros envolvidos na interação têm vantagens, possuem padrões estruturais emergentes bem documentados. Tais redes apresentam, em geral, baixa conectância, são assimétricas, aninhadas, modulares, e possuem uma distribuição desigual de grau e força de interação (Vizentin-Bugoni et al., 2018). As interações podem ser reguladas por diferentes fatores, tais como, distribuição espaço-temporal de indivíduos e espécies, bem como características funcionais das espécies que compõem a rede (Vázquez et al., 2009). As características funcionais podem ser morfológicas, fisiológicas e fenotípicas, e afetam ou respondem a processos abióticos e bióticos dos ecossistemas (Lavorel and Garnier, 2002). As interações, e consequentemente a estrutura das redes, podem ser determinadas pelas ligações proibidas (*forbidden links*, em inglês), onde as espécies possuem características funcionais que as impedem de interagir com outras (Jordano et al., 2002; Olesen et al., 2011). Por exemplo, a estrutura de uma rede de interação de dispersão de sementes foi melhor explicada pelas restrições na exploração de recursos no caso das aves e pelo consumo preferencial de frutas com características específicas por mamíferos (Sebastián-González et al., 2017). Apesar da importância dos atributos funcionais para analisar interação, ainda há uma grande lacuna de dados de interação (Hortal et al., 2015), o que dificulta a realização destes trabalhos

Estudos que avaliam a influência de características funcionais na estrutura das redes de interação são escassos. Em um trabalho prévio, foi identificada a contribuição dos traços funcionais para explicar a estrutura de 18 redes de interação, demonstrando que a contabilização de algumas características melhora drasticamente a compreensão da estrutura de tais redes ecológicas (Eklof et al., 2013). A diversidade funcional é medida através de índices, os quais quantificam o valor e o intervalo de características do organismo que influenciam seu desempenho (Díaz and Cabido, 2001). A estrutura das redes de interação pode ser prevista através de índices de diversidade funcional (Lin et al., 2022; Maruyama et al., 2018). Por exemplo, as redes planta e beija-flor, cujas comunidades de beija-flores são compostas por espécies funcionalmente distintas (isto é, aquelas com alta dispersão funcional), são especializadas e modulares (Maruyama et al., 2018). Ademais, foi demonstrado que o papel da espécie na rede está relacionada com a sua contribuição para a diversidade funcional da comunidade

(Coux et al., 2016). A diversidade de interações e a homogeneidade de interações são métricas topológicas complementares utilizadas em estudos de conservação e visam avaliar a estabilidade e a robustez funcional das comunidades, respectivamente (Kaiser-Bunbury and Blüthgen, 2015). Contudo, tem sido negligenciada em estudos de biodiversidade devido, parcialmente, à falta de dados de riqueza e abundância de interações bióticas para maioria dos sistemas (Dyer et al., 2010; Pugh and Field, 2022). Dois trabalhos recentes relacionam a diversidade de interações com a diversidade funcional. Nestes trabalhos, foi visto que a diversidade de interações não se correlaciona ou possui uma fraca correlação com diversidade funcional e filogenética (Gaüzère et al., 2022; Lin et al., 2022), indicando que a diversidade de interações adiciona informações complementares sobre as comunidades estudadas.

Estudos de redes de interações entre plantas e animais têm enriquecido o entendimento a respeito da especialização e generalização de potenciais polinizadores e seus parceiros (Bascompte et al., 2003; Maglianesi et al., 2014; Villalobos et al., 2019), sendo que as características funcionais podem afetar a especialização em nível de espécie. Por exemplo, o comprimento e a curvatura do bico de espécies de beija-flor, bem como o tamanho corporal foram associados positivamente a especialização ecológica (Maglianesi et al., 2014). Outro estudo demonstrou que espécies de abelhas especialistas são maiores e menos filogeneticamente distintas do que as generalistas nas redes de interação planta-abelha na região tropical (Raiol et al., 2021). Em contrapartida, considerando as características das plantas, por exemplo, viu-se que o tempo de floração influenciou a especialização; quanto maior o tempo de floração, menor a especialização, ou seja, mais generalista se torna a planta (Lázaro et al., 2020). Assim, considerar as características funcionais das espécies na dinâmica das interações tem sido um fator importante para aumentar o conhecimento sobre o tema e para tornar possível antecipar repostas a mudanças futuras (Bascompte et al., 2019).

Compreender as interações planta-polinizador é uma ação fundamental para a conservação efetiva das espécies envolvidas e para a manutenção de funções ecossistêmicas, uma vez que foi estimado que cerca de 94% de angiospermas de florestas tropicais e decíduas são polinizadas por animais (Ollerton et al., 2011). Por fim, há ainda uma importante lacuna de conhecimento sobre redes de interação na Amazônia. Um primeiro trabalho sobre o tema foi publicado analisando as redes de interação em áreas abertas (cangas) da Floresta Nacional de Carajás, no sudoeste do Pará (Pinto et al., 2020). Esse estudo demonstrou que as redes planta-polinizador de fragmentos naturais não são afetadas pelo tamanho da área ou o grau de isolamento, ao contrário do que acontece em fragmentos antropizados (Pinto et al., 2020). Recentemente, outro estudo foi publicado para áreas de floresta em Carajás, analisando as interações entre plantas e abelhas a partir do pólen coletado nas estruturas corporais especializadas em coleta e armazenamento de pólen em espécimes de polinizadores

depositados em coleções entomológicas (Romeiro et al., 2023), mostrando a importância de conhecermos o padrão histórico das interações para traçar estratégias de restauração. Outros trabalhos de redes de interação para região possuem diferentes abordagens, por exemplo interações bióticas e abióticas de microrganismos na Amazônia por meio de redes de co-ocorrência e *metabarcoding* de DNA (Ritter et al., 2021); interações aves-plantas na borda de um fragmento florestal no sudoeste da Amazônia brasileira (Alencar and Guilherme, 2020); e, propriedades emergentes de redes espécies-habitat numa paisagem florestal insular (Palmeirim et al., 2022).

O presente estudo teve por objetivo geral avaliar a influência das características funcionais nas propriedades estruturais das redes de interação planta-abelha e na especialização das espécies em áreas de floresta primária na Amazônia Oriental (Floresta Nacional de Carajás, sudeste do Pará). Os objetivos específicos são [1] comparar a estrutura das redes de interação em áreas de floresta; [2] determinar quais são as espécies mais generalistas/especialistas nas redes de interação; [3] avaliar se os atributos funcionais afetam a especialização de espécies de abelhas e; [4] avaliar a relação entre diversidade de interações e diversidade funcional. Com as seguintes hipóteses, [1] atributos funcionais afetam a especialização; [2] há relação entre diversidade funcional e diversidade de interações. Este estudo visa elucidar questões relacionadas as características das espécies e suas funções, bem como, sobre as interações entre grupos de espécies, sendo o primeiro trabalho que avalia especificamente a relação da diversidade funcional com as propriedades estruturais de redes de interação na Amazônia. Visa também reduzir a lacuna de informação sobre redes de interação no bioma amazônico.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Floresta Nacional de Carajás, uma unidade de conservação de uso sustentável localizada no sudeste do estado do Pará (05°52'S e 06°33'S, 49°53'W e 50°45'W). Esta Unidade de Conservação abrange mais de 3900Km² de extensão e atinge altitude de até 700 metros, apresentando clima tropical chuvoso com seca de inverno, segundo a classificação de KÖPPEN (ICMBIO, 2016). De acordo com o plano de manejo florestal (2016), a Unidade de Conservação apresenta diferentes fitofisionomias, tais como: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta ombrófila aluvial, ombrófila aberta com bambu e campo rupestre (canga), sendo que a área florestal ocupa cerca de 95% da área (figura 1).

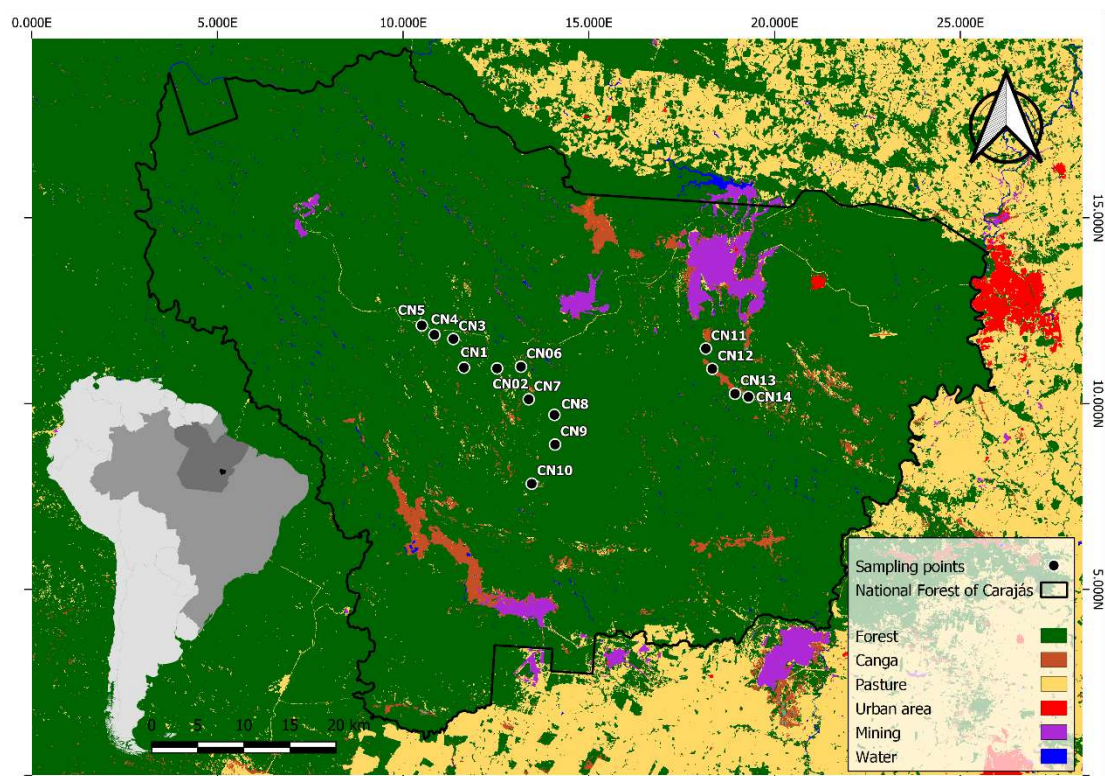


Figura 1. Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo na Floresta Nacional de Carajás (PA) com os 14 pontos amostrais. Fonte: Mapbiomas coleção 6.

COLETA DE DADOS

Na área de estudo foram coletados dados de interação entre abelhas (polinizadores) e plantas em 14 pontos amostrais na FLONA de Carajás. Os pontos de coleta estão distantes entre si por pelo menos 1,5km, e foram selecionados visando a necessidade de cobertura espacial apropriada e a logística de acesso às áreas.

Os dados de interação foram coletados a partir de adaptações do método proposto por Sakagami et al. (1967). Em cada ponto amostral, foi percorrido um transecto de aproximadamente 1Km onde todas as flores abertas foram observadas por 5 minutos e todos os visitantes florais foram coletados. Quando possível, várias flores foram observadas ao mesmo tempo. Todas as plantas com flores abertas foram coletadas, independentemente de sua abundância, garantindo que não apenas as plantas mais abundantes, mas também as plantas mais raras fossem amostradas. Todas as abelhas foram coletadas com uma rede entomológica ou tubos plásticos para evitar danos às flores. As abelhas amostradas foram armazenadas temporariamente em álcool, montadas e foram identificadas até o nível taxonômico mais baixo possível. Todas as abelhas serão depositadas na coleção entomológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (Belém, Pará). Todas as plantas amostradas foram também coletadas, herborizadas e identificadas. Elas estão depositadas no herbário do Museu Paraense Emílio Goeldi (Belém, Pará).

As coletas foram realizadas por duas horas não consecutivas em cada ponto, com 15 minutos de intervalo, entre aproximadamente 7:30h e 10:00h da manhã. Foram feitas três coletas em cada ponto amostral.

ANÁLISE DE DADOS

Análise de redes

As análises sobre as redes de interação foram efetuadas no R (R Core Team), utilizando o pacote bipartite (Dormann et al. 2008), que oferece uma análise abrangente de diversas métricas de redes e rápida visualização dos gráficos. Utilizando todos os dados de interações relatadas, foi construída uma matriz binária ponderada com as espécies de abelhas como colunas e plantas como linhas, sendo anotado, nas células de interseção, o número de visitas observadas de uma espécie de abelha a uma espécie de planta.

Para descrever a estrutura topológica da rede de interação planta-abelha foram utilizadas duas métricas: diversidade de interação (*Interaction diversity* – ID) e homogeneidade da interação (*Interaction Evenness* – IE). A ID é uma métrica ponderada análoga ao número total de links, calculada como expoente da Entropia H2 da Shannon e avalia a estabilidade da comunidade. A IE avalia a homogeneidade das frequências de interação em todos os elos da rede, com valores elevados refletindo uma distribuição mais uniforme da interação entre as espécies (Kaiser-Bunbury and Blüthgen, 2015). Valores de IE próximos de 0 representam uma distribuição mais heterogênea, sendo que 1 corresponde a uma distribuição perfeitamente homogênea (Blüthgen et al., 2008). Foram realizados testes Z para os valores de ID e IE das comunidades para avaliar se há diferença entre as 14 redes analisadas. Primeiro, foram calculados a média e o desvio padrão das comunidades, com exceção da que estaria sendo comparada. Para obter o Z-score, calculou-se o valor do índice da

comunidade menos a média, dividido pelo desvio padrão, e este cálculo foi feito para cada uma das 14 redes obtidas nos pontos amostrados. Do valor gerado, calculou-se o p-value.

Para determinar o papel das espécies, visando determinar quais espécies são generalistas ou especialistas, foi utilizada a métrica de especialização (d'). O índice d' é ideal para comparar diretamente o grau de especialização de diferentes espécies dentro de uma rede, avaliando a exclusividade do espectro de parceiros de uma espécie em comparação com outras espécies na rede (Kaiser-Bunbury and Blüthgen, 2015). Os valores dessa métrica variam entre 0 e 1 para generalização extrema e especialização, respectivamente.

Atributos funcionais e diversidade funcional das comunidades

As características funcionais das espécies de abelhas e plantas foram compiladas utilizando os dados coletados em campo e consultando artigos publicados. As características funcionais de abelhas foram obtidas através do banco de dados provido por Borges et al. (2020) (Apêndice 2). Na maioria dos casos, as características são atributos fixos de uma espécie, exceto o tamanho corporal que é contínuo e varia entre os indivíduos. No trabalho citado, foi utilizada a média de 5 espécimes por espécie (Borges et al., 2020). As características das plantas foram coletadas através de artigos de taxonomia e sistemática, principalmente os compilados na coleção sobre a flora das cangas da serra dos Carajás (Viana et al., 2016) e são todas categóricas relacionadas a morfologia floral (Apêndice 3).

Métricas de diversidade funcional foram calculadas, tanto para comunidades de abelhas como de plantas, utilizando matrizes de comunidades de abundância. Foram feitas correlações entre as métricas de diversidade funcional (Apêndice 4 e 5). Foram utilizadas apenas aquelas que não apresentavam correlação. Foram analisadas as seguintes métricas: Dispersão Funcional (FDis) e Regularidade Funcional (FEve). A FDis representa a distância média no espaço de características multidimensionais de espécies individuais ao centroide de todas as espécies, ponderada pela abundância relativa das espécies (Laliberté and Legendre, 2010). A FEve se refere a regularidade da distribuição da abundância dos valores dos atributos funcionais no espaço funcional (Villéger et al., 2008). Para essas métricas, a abundância relativa é utilizada para calcular a distribuição das espécies abundantes dentro do volume do espaço de característica funcional.

Análises estatísticas

Para avaliar se e quais atributos funcionais das abelhas e plantas estão associados à especialização em nível de espécie, foram utilizados modelos lineares para os atributos numéricos e ANOVA para os atributos categóricos. Para tanto, consideramos os atributos como variáveis preditoras e como variáveis resposta, a métrica em nível de espécie (especialização d'). Os cálculos foram feitos

separadamente para abelhas e plantas para averiguar quais atributos se associam com a especialização de cada uma, respectivamente.

Foram feitos modelos lineares para testar se as redes com maior diversidade de interações apresentam maior diversidade funcional de abelhas, no qual as métricas de rede foram as variáveis respostas e as métricas de diversidade funcional, as variáveis preditoras. Como a métrica ID pode ser afetada pela riqueza de espécies (Kaiser-Bunbury and Blüthgen 2015), foram feitas seleções de modelos por critério de informação de Akaike corrigido (AIC), onde foi incorporado o efeito do tamanho da rede. Neste estudo, o tamanho da rede se refere à multiplicação da riqueza de plantas e abelhas. Portanto, foram feitos modelos para cada métrica de rede (ID e IE) divididos em: nulo, tamanho da rede (Nsize), FEve + Nsize e FDis + Nsize. A seleção de modelos por AIC incorre no risco de selecionar modelos que possuem parâmetros que não sejam informativos (Arnold, 2010). Por essa razão, em caso de seleção de dois ou mais modelos, fizemos uma ANOVA para avaliar se algum parâmetro não é informativo, sendo ignorado o que apresentou $p < 0,05$.

RESULTADOS

Para as 14 redes de interação, foram registradas 480 interações, envolvendo 60 espécies de abelhas (Apêndice 4) e 74 espécies de planta (Apêndice 5). A maioria das espécies de abelhas pertence à família Apidae, com destaque para o gênero *Trigona* (11 espécies) (Apêndice 6). A família botânica com maior número de espécies foi Fabaceae (13 espécies) (Apêndice 7).

Comparações entre os pontos amostrais

O cálculo das métricas de redes (diversidade e homogeneidade da interação; ID e IE) com o teste Z-score constatou que não houve diferença significativa entre os pontos amostrais, o que indica que a diversidade de interações é homogênea entre os locais amostrados (Figura 2).

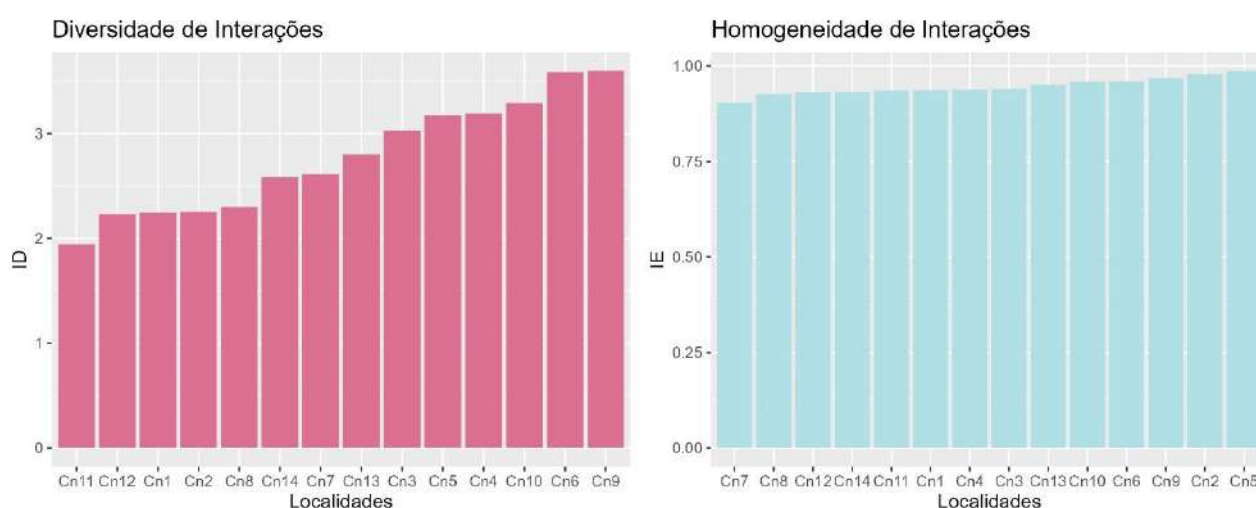


Figura 2. Índices Diversidade de Interações (ID) e Homogeneidade de Interações (IE) em cada ponto amostral.

Papel das espécies interagentes nas redes de interação

A espécie *Trigona guianae* Cockerell, 1910 foi a única que ocorreu em todos os pontos amostrais, apresentando valores de especialização d' variando de generalista total para especialista total nas 14 redes. O valor médio de d' mostrou que a *Trigona guianae* possui especialização intermediária (0,48). Outras quatro espécies de abelhas mais comuns obtiveram valores médios intermediários de especialização d' (Figura 3). Em relação as plantas, a espécie *Borreria ocymifolia* (Roem. & Schult.) Bacigalupo & E.L.Cabral possui, em média (0,340), um valor baixo de especialização d' sendo também a mais comum, ocorrendo em 11 dos 14 pontos amostrados. Da mesma forma, outras seis espécies de plantas mais comuns que foram identificadas também possuem, em média, valores baixos de especialização d' (Figura 4).

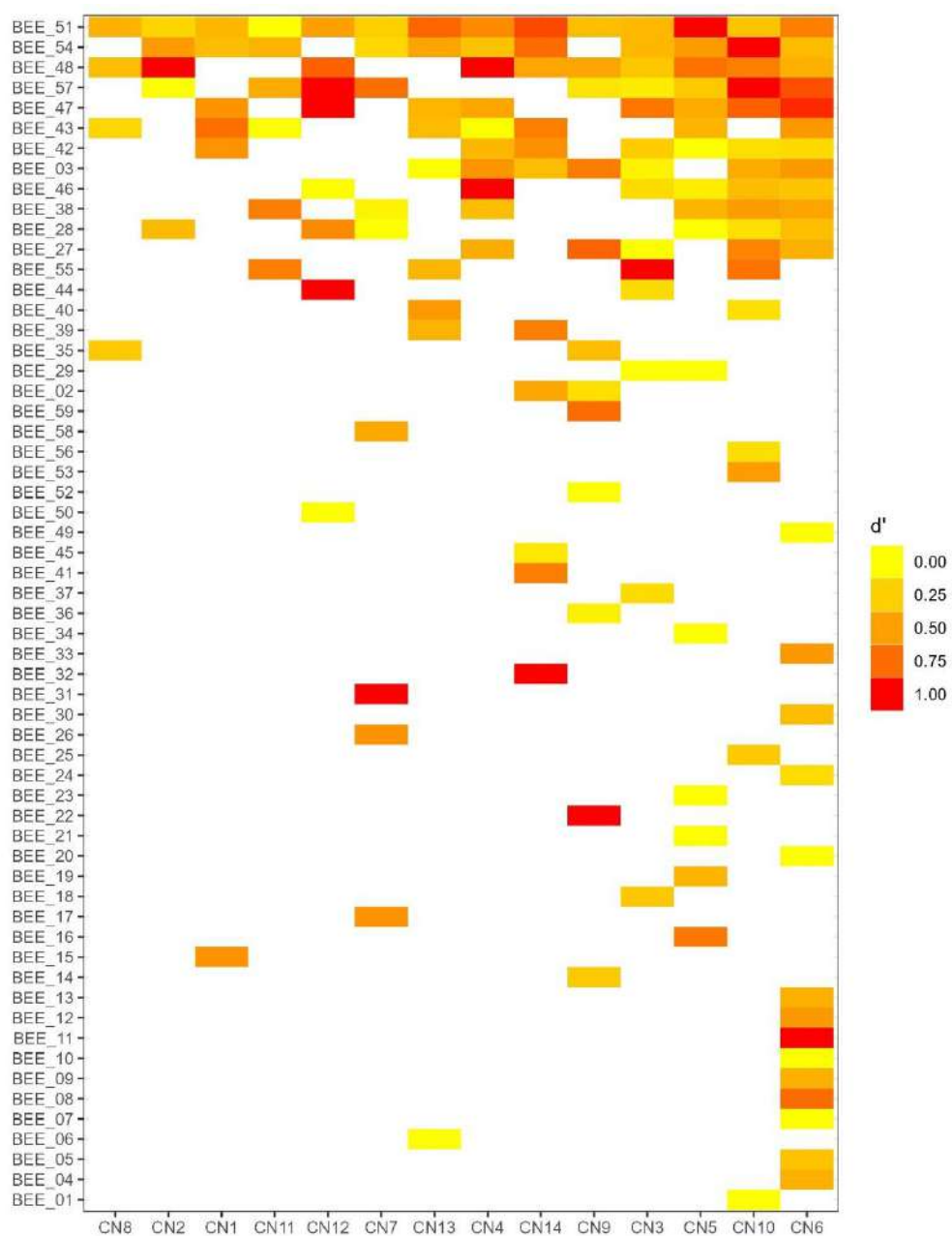


Figura 3. Distribuição das espécies de abelhas nos pontos amostrais e valores de especialização d' . No topo estão as espécies que mais ocorrem nos 14 pontos amostrados e à direita são os pontos amostrais com maior riqueza de espécies de plantas amostrada. Códigos podem ser encontrados no Apêndice 6.

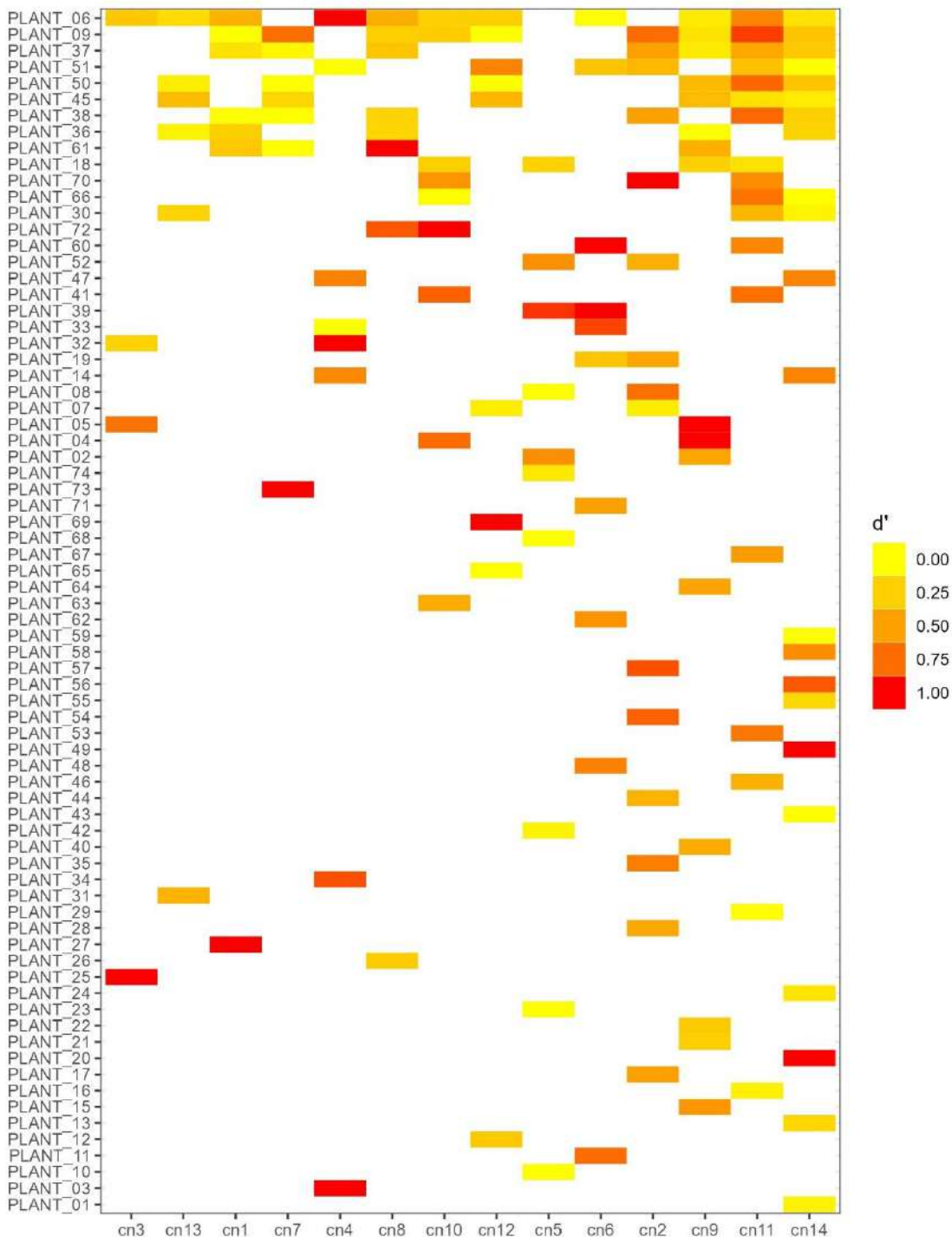


Figura 4. Distribuição das espécies de plantas nos pontos amostrais e valores de especialização d' . No topo estão as espécies que mais ocorrem nos 14 pontos amostrados e à direita são os pontos amostrais com maior riqueza de espécies de plantas amostradas. Códigos podem ser encontrados no Apêndice 7.

Efeito dos atributos funcionais na especialização

As características funcionais das abelhas não tiveram relação com a especialização d' , uma vez que a probabilidade de serem encontradas ao acaso é alta ($p > 0,05$) (apêndice 8). As características funcionais de plantas também não foram significativamente relevantes para prever a especialização d' ($p > 0,05$) (apêndice 9). Dessa forma, a hipótese de que atributos funcionais afetam a especialização não foi corroborada.

Diversidade funcional de abelhas e plantas como preditor da diversidade de interações

A hipótese de que a diversidade funcional influenciaria a diversidade interações foi parcialmente corroborada. Em relação a diversidade funcional de abelhas e a diversidade de interações, a seleção de AIC selecionou um modelo, sendo este: tamanho da rede (Nsize). O tamanho da rede afetou positivamente a diversidade de interações. Dessa forma, quanto maior a riqueza taxonômica maior será a diversidade de interações (Figura 5; Tabela 1).

Tabela 1. Modelos Lineares da relação do ID com a Diversidade Funcional de abelhas em ordem de seleção. Os modelos selecionados em negrito.

Variável resposta	Variáveis preditoras	R ²	df	P value	Δ	Weitght
ID	NSize	0.704	3	<0.05	0	0.781
ID	FDis abelhas + NSize	0.682	4	0.70	3.85	0.114
ID	FEve abelhas + NSize	0.678	4	0.87	4.01	0.105
ID	Intercept		2	<0.05	14.89	0.000

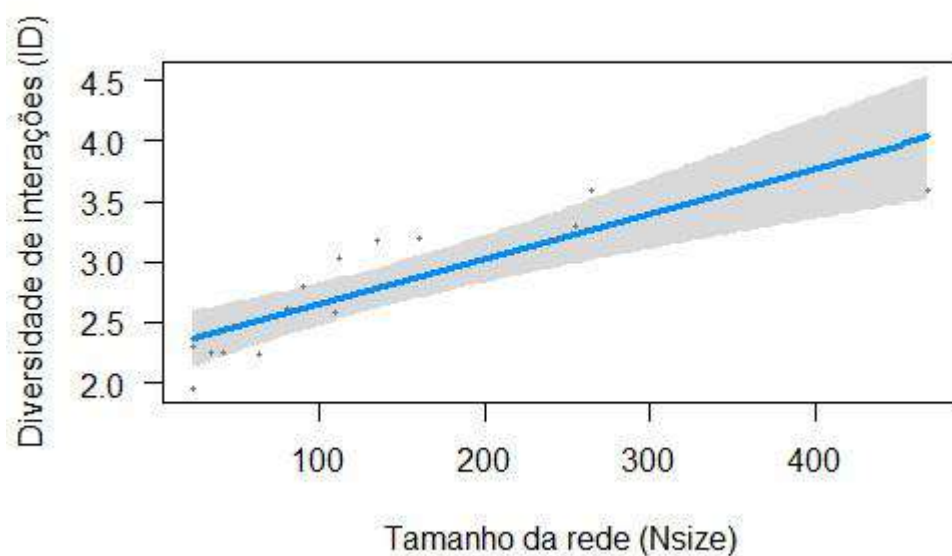


Figura 5. Relação positiva entre o tamanho da rede e a diversidade de interações (ID) das redes planta-abelha.

No que se refere as plantas, a seleção de AIC selecionou um modelo (Tabela 2), sendo este: dispersão funcional (Figura 7). A relação da dispersão funcional de plantas com a diversidade de interações foi positiva. Assim, quanto maior é a distância média das espécies individuais ao centroide de todas as espécies, ponderada pela abundância relativa das espécies, maior será a diversidade de interações. Para a métrica homogeneidade de interações (IE), foram selecionados dois modelos: nulo e tamanho

da rede (Tabela 3). Dessa forma, a probabilidade da relação da homogeneidade de interações e diversidade funcional ocorrerem ao acaso é alta, e o tamanho da rede influencia a variação de IE. No entanto, o tamanho da rede foi considerado um parâmetro não informativo pela ANOVA ($p>0,05$), assim sendo ignorado (Figura 9).

Tabela 2. Modelos Lineares da relação do ID com a Diversidade Funcional de plantas em ordem de seleção. Os modelos selecionados em negrito.

Variável resposta	Variáveis preditoras	R ²	df	P value	Δ	Weight
ID	FDis planta +NSize	0.832	4	<0.05	0.00	0.911
ID	NSize	0.704	3	<0.05	5.08	0.072
ID	FEve	0.702	4	0.36	8.03	0.016
	Planta +NSize					
ID	Intercept		2	<0.05	19.97	0.000

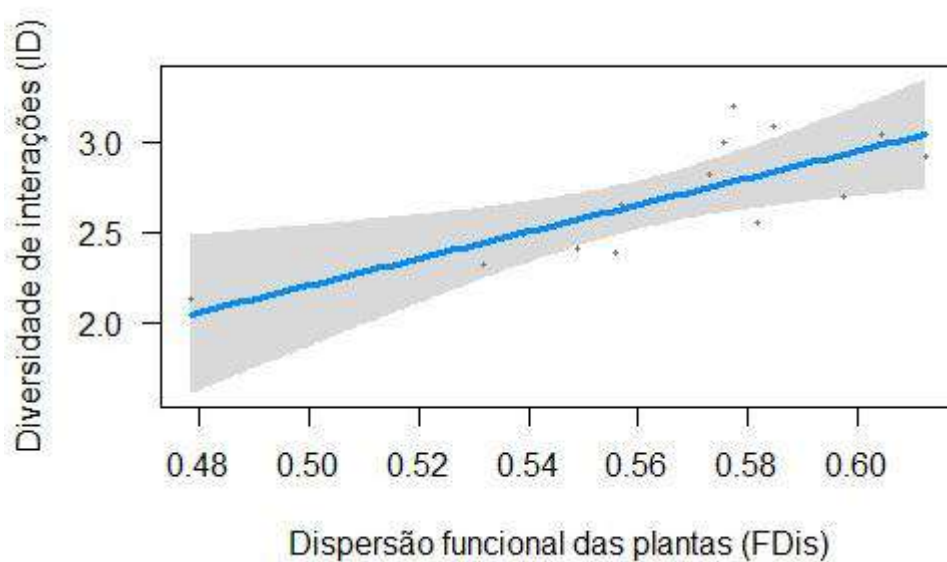


Figura 6. Relação positiva entre a dispersão funcional de plantas e a diversidade de interações-ID (corrigido pelo tamanho da rede) das redes planta-abelha.

Tabela 3. Modelos Lineares da relação do IE com a Diversidade Funcional de plantas e abelhas em ordem de seleção. Os modelos selecionados em negrito.

Variável resposta	Variáveis preditoras	R ²	df	P value	Δ	Weight
IE	Intercept		2	<0.05	0	0.530
IE	NSize	0.066	3	0.191	1.23	0.287
IE	FEve plantas +NSize	0.155	4	0.160	2.65	0.141
IE	FDis plantas +NSize	-0.002	4	0.679	5.04	0.043
Variável resposta	Variáveis preditoras	R ²	df	P value	Δ	Weight
IE	Intercept		2	<0.05	0.00	0.590
IE	NSize	0.066	3	0.191	1.23	0.320
IE	FDis abelhas +NSize	-0.006	4	0.729	5.11	0.046
IE	FEVe abelhas +NSize	-0.012	4	0.800	5.19	0.044

DISCUSSÃO

Nossos resultados demonstram que a diversidade de interações não varia entre os locais analisados. No que tange a especialização d', foi observado que as espécies de abelhas mais comuns entre os pontos amostrais apresentam, em média, valores intermediários dessa métrica. Já as espécies de plantas mais comuns são, em média, generalistas. No entanto, os atributos funcionais não influenciaram a especialização de abelhas e plantas. A diversidade de interações foi positivamente relacionada com dispersão funcional de plantas. Além do mais, o tamanho da rede também teve influência no valor da diversidade de interações. A métrica homogeneidade de interações não obteve relação com a diversidade funcional.

Estrutura da rede

Neste estudo, para todas as redes analisadas, foram obtidos valores altos da homogeneidade de interações, o que reflete uma distribuição mais uniforme de interação entre as espécies na comunidade e está associado a uma maior robustez funcional (Kaiser-Bunbury and Blüthgen, 2015). Além disso, altos valores da homogeneidade de interações pode estar relacionada com o generalismo da maioria das espécies presentes na rede (Geslin et al., 2013). Valores altos de diversidade de interações implicam em uma maior estabilidade da comunidade (Kaiser-Bunbury and Blüthgen, 2015). Dessa forma, avaliar a diversidade de interações pode facilitar a identificação de comunidades que são mais resilientes a extinções e as mudanças ambientais (Gaüzère et al., 2022).

Contudo, essa métrica pode ser enviesada pela riqueza de espécies (Gaüzère et al., 2022), razão pela qual utilizamos a riqueza de espécies como *proxi* do tamanho da rede para correção, e também, foi incorporada aos modelos para avaliar o tamanho desse efeito. O tamanho da rede foi bastante relevante para explicar a diversidade de interações, o que era esperado uma vez que, quanto maior o número de espécies que compõem uma rede, maior a probabilidade de potenciais interações. Um estudo no Ártico de redes de planta-polinizador, demonstrou que a comunidade floral é um forte preditor da complexidade e da diversidade de interações, mas que 39% da variação não foi explicada pelos modelos de diversidade, o que pode ser explicado pelas características funcionais (Robinson et al., 2018). Embora a riqueza taxonômica seja importante para a diversidade de interações, não é unicamente a razão das interações ocorrerem, uma vez que as espécies podem interagir de maneira funcionalmente diferente (Dell et al., 2019).

Papel das espécies

No presente estudo, as abelhas do gênero *Trigona* foram as mais abundantes, e destaca-se o papel de quatro outras espécies além de *T. guianae* (*T. pallens*, *T. chanchamayoensis*, *T. willliana*, *T. amalthea*). Espécies de *Trigona* já foram identificadas como espécies generalistas em outros estudos

sobre redes de interação no Brasil, notadamente *T. spinipes* (Giannini et al. 2015; Campbell et al. 2019). Essa espécie merece destaque pois, apesar de ser considerada supergeneralista, ter ampla distribuição e ocorrer nas imediações de Carajás (Borges et al. 2020), e ser particularmente adaptada a áreas degradadas (Giannini et al. 2015), ela não foi coletada nas redes de interação nas áreas de floresta amostradas. Da mesma forma, destaca-se a abelha exótica *Apis mellifera*, também considerada supergeneralista no Brasil (Giannini et al. 2015), e não foi coletada em 7 das 14 áreas, sugerindo que ela não é uma espécie prevalente no interior da floresta.

As sete espécies de plantas mais comuns que foram identificadas possuem, em média, valores baixos de especialização d' , o que pode indicar uma seleção de parceiros oportunistas em comparação a outras espécies nas redes (Kaiser-Bunbury and Blüthgen, 2015). As espécies mais generalistas são importantes para manter a robustez da rede, especialmente porque são parceiros das espécies mais especialistas (Bascompte et al. 2003), tendo assim um importante papel ecológico. Contudo, a especialização ou generalização pode ser influenciada por diversos fatores (Lázaro et al., 2020; Villalobos et al., 2019). Além disso, definir a especialização da perspectiva da planta é mais desafiador, especialmente se não for avaliado o sucesso de polinização (Armbruster, 2017).

Para este estudo, as características funcionais de plantas e abelhas não tiveram relação com a especialização d' ($p > 0,05$). Isso pode indicar que diferentes processos ecológicos podem estar impulsionando a especialização, tais como filtros ambientais. Contudo, seria indicado testar outras características que tenham relação com a interação planta-polinizador, tais como volume do néctar e fenologia floral. O tempo de floração é outro atributo interessante de se avaliar, uma vez que a fenologia de abelhas pode não coincidir com a fenologia das plantas, restringindo a interação (Lázaro et al., 2020).

Diversidade funcional

Estudos que envolvem a abordagem de rede e a diversidade funcional são ainda escassos, porém já foi demonstrado que as características florais e de polinizadores pode explicar a variação em padrões de interações (Kaiser-Bunbury et al., 2014). Nossos resultados mostraram que, a dispersão funcional de plantas foi tão relevante quanto o tamanho da rede para explicar a diversidade de interações.

Neste estudo, a dispersão funcional de abelhas não influenciou a diversidade de interações. Contudo, enfatiza-se a importância de considerar as características funcionais de abelhas para entender a dinâmica de interações de redes planta-polinizador. Em trabalho prévio, foi demonstrado que a perda de grupos de características de abelhas resulta em coextinção mais rápida de abelhas e plantas com flores do que quando grupos taxonômicos de abelhas foram perdidos (Cantwell-Jones et al., 2023). Recentemente, um estudo demonstrou que a perda da diversidade funcional dos polinizadores contribuiu mais para a perda funcional da polinização do que a perda da diversidade de espécies nas

redes planta-polinizadores (Hiraiwa & Ushimaru, 2024). Nossos resultados também mostraram que a dispersão funcional de plantas aumenta juntamente com a diversidade de interações, ou seja, comunidades de plantas com espécies que tenham características funcionais diferentes de outras presentes na rede tendem a criar redes com mais conexões. Este resultado sugere uma maior singularidade funcional para as comunidades de plantas, indicando que há espécies cumprindo funções que podem ser insubstituíveis. Por um lado, o funcionamento do ecossistema aumenta com a biodiversidade, por outro revela uma fragilidade, com certas funções dependendo de uma ou poucas espécies (Blüthgen and Klein, 2011). No entanto, o aumento da diversidade funcional de plantas e polinizadores gera um recrutamento de comunidades vegetais mais diversas (Fontaine et al., 2005); e maior riqueza de espécies de plantas está relacionada com uma maior diversidade de interações e diversidade de insetos (Albrecht et al., 2007; Hachuy-Filho et al., 2020). Em um estudo que avaliou a remoção de plantas generalistas em interações planta-abelha, demonstrou que a capacidade de forrageamento e a flexibilidade de abelhas foi limitada pelas características das plantas (Biella et al., 2019). Portanto, a diversidade funcional das plantas pode ser um fator determinante para os pares de abelhas e plantas interagentes. Além disso, nossos resultados mostram que futuras mudanças na diversidade funcional de plantas podem potencialmente alterar a diversidade de interações e funções do ecossistema.

A maioria dos estudos que envolvem redes de interações ecológicas e diversidade funcional possui outras abordagens. Por exemplo, estudos avaliaram a perda de espécies (Acevedo-Quintero et al., 2023; Biella et al., 2019; Hachuy-Filho et al., 2020); utilizaram a diversidade de espécies como preditores da diversidade funcional e da diversidade de interações (Fontaine et al., 2005; Robinson et al., 2018); ou utilizaram outras abordagens baseadas em características funcionais para prever a variação espaço-temporal (Cantwell-Jones et al., 2023) e os papéis das espécies nas redes (Coux et al., 2016). A maioria desses estudos utiliza métricas topológicas mais tradicionais, tais como aninhamento, modularidade e conectância. Poucos estudos consideraram a diversidade funcional para prever a estrutura da rede, especialmente utilizando métricas de diversidade de interação (Gaüzère et al., 2022; Lin et al., 2022). Em trabalho prévio, já citado anteriormente, com redes de planta e beija-flor, a dispersão funcional de beija flor foi correlacionado com a estrutura de rede enquanto a dispersão funcional de plantas não foi correlacionada com a estrutura da rede (Maruyama et al., 2018). O trabalho citado utilizou métricas topológicas diferentes das nossas. Este estudo sugere que a diversidade funcional de abelhas e plantas é um importante impulsionador da diversidade de interações nas comunidades estudadas.

Limitações

No sistema planta-polinizador as interações são restringidas por características que não se combinam, representando barreiras, e determinar e quantificar as características reais que regem estas interações

representa um desafio (Bartomeus et al., 2016). O banco de dados provido por Borges et al. (2020) corresponde ao mais robusto banco de dados de abelhas brasileiras na atualidade. Porém, ainda há lacunas de informações importantes sobre características funcionais essenciais que governam as interações entre abelhas e plantas. Ainda é necessário compreender de que forma essas características funcionais se relacionam com o funcionamento do ecossistema (Chase et al., 2023). Por exemplo, foi visto recentemente que a amplitude da dieta teve o efeito mais forte na polinização, seguida pela sociabilidade e tamanho corporal (Chase et al., 2023). No que se refere a especialização, vale ressaltar que alguns visitantes florais podem ser mal interpretados como generalistas por frequentarem uma variedade de plantas, quando na verdade são especializados em determinados recursos de cada tipo de planta (Armbruster, 2017).

Próximos passos

Um dos desafios é entender como as interações entre espécies irão responder frente as mudanças ambientais e climáticas. As mudanças climáticas podem afetar fatores que influenciam a ocorrência das interações como a fenologia, comportamento, fisiologia e abundâncias relativas das espécies (Hegland et al., 2009; Scaven and Rafferty, 2013; Tylianakis et al., 2008). Fatores ambientais afetam a estrutura de rede, influenciando a diversidade funcional das comunidades ecológicas (Maruyama et al., 2018). Além disso, podem levar à extinção de espécies e afetar toda a dinâmica de interações da comunidade. A combinação da análise de redes de interação com índices de diversidade funcional permite investigar a robustez dos padrões estruturais da rede e da vulnerabilidade da capacidade funcional das comunidades face à perda de espécies (Acevedo-Quintero et al., 2023). Enfatiza-se a importância de considerar o contexto espaço-temporal ao estudar as contribuições dos traços funcionais para a arquitetura de redes de interação, uma vez que a redundância funcional varia espaço-temporalmente (Cantwell-Jones et al., 2023). Em futuras pesquisas, seria interessante considerar características contínuas como volume do néctar, profundidade da corola, tamanho corporal dos espécimes e outros para obter a variação entre todos os indivíduos e populações, e assim investigar as restrições de características. Considerar características individuais pode revelar padrões que seriam difíceis observar em redes baseada em espécies, e fornecer uma visão complementar (Rumeu et al., 2018). Destaca-se a importância de considerar a diversidade e as funções das espécies nas redes de interação entre abelhas e plantas para a compreensão da ecologia dessas relações.

CONCLUSÕES GERAIS

Os estudos de redes de interações são ainda escassos para Amazônia com apenas dois estudos envolvendo redes de planta-polinizador. É fundamental preencher essa lacuna de conhecimento sobre interações entre planta-abelhas, visto que as abelhas incluem os principais grupos de polinizadores. Nossos resultados mostraram que as redes de interações abelha-planta para a FLONA de Carajás possuem uma abrangente diversidade de interações e homogeneidade das frequências de distribuição das interações, o que indica estabilidade e robustez funcional dessas comunidades. Identificamos o papel das espécies e vimos que as espécies mais comuns de abelhas são do gênero *Trigona*, as quais compreendem espécies generalistas à especialistas intermediárias. Por outro lado, as plantas mais comuns apresentaram valores baixos de especialização d' , sendo, portanto, mais generalistas que as espécies de abelhas. Contudo, os traços funcionais das espécies de abelhas e plantas avaliadas não foram suficientes para prever a especialização d' . Este resultado sugere que outros fatores podem estar afetando a especialização d' . Além disso, outras características funcionais que regem as interações entre abelhas e plantas podem afetar a especialização d' .

A dispersão funcional de plantas aumenta conforme aumenta a diversidade de interações, ou seja, comunidades de plantas com espécies que tenham características funcionais mais diferentes possuem mais conexões. Este resultado sugere que a diversidade funcional de plantas possui um papel essencial para a formação de conexões nessas comunidades. Estudos indicam que a diversidade funcional de plantas gera um maior recrutamento de espécies vegetais o que aumenta a diversidade de interações. Dessa forma, nota-se uma relação entre diversidade funcional, diversidade de espécies e diversidade de interações. Inclusive, o tamanho da rede (riqueza de espécies de planta e abelha) foi positivamente relacionado com a diversidade de interações.

Portanto, a diversidade funcional influencia as propriedades estruturais das redes de interações planta-abelha, bem como a riqueza taxonômica. Entender os processos ecológicos que regem as interações e o que as influenciam é essencial para a compreensão da dinâmica das comunidades, especialmente para a tomada de decisão sobre medidas de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Quintero, J.F., Zamora-Abrego, J.G., Mancera-Rodríguez, N.J., 2023. Structural but not functional resistance of frugivore-plant interaction networks to the defaunation process. *Food Webs* 37, e00322. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2023.e00322>
- Albrecht, M., Duelli, P., Schmid, B., Müller, C.B., 2007. Interaction diversity within quantified insect food webs in restored and adjacent intensively managed meadows. *Journal of Animal Ecology* 76, 1015–1025. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01264.x>
- Alencar, L., Guilherme, E., 2020. Bird-plant interactions on the edge of a forest fragment in southwestern Brazilian Amazonia. *Acta Sci. Biol. Sci.* 42, e51485. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v42i1.51485>
- Armbruster, W.S., 2017. The specialization continuum in pollination systems: diversity of concepts and implications for ecology, evolution and conservation. *Funct Ecol* 31, 88–100. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12783>
- Bartomeus, I., Gravel, D., Tylianakis, J.M., Aizen, M.A., Dickie, I.A., Bernard-Verdier, M., 2016. A common framework for identifying linkage rules across different types of interactions. *Functional Ecology* 30, 1894–1903. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12666>
- Bascompte, J., García, M.B., Ortega, R., Rezende, E.L., Pironon, S., 2019. Mutualistic interactions reshuffle the effects of climate change on plants across the tree of life. *Sci. Adv.* 5, eaav2539. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav2539>
- Biella, P., Akter, A., Jeff Ollerton, Tarrant, S., Janeček, Š., Jersáková, J., Klecka, J., 2019. constrained flexibility of foraging. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43553-4>
- Blüthgen, N., Fründ, J., Vázquez, D.P., Menzel, F., 2008. What do interaction network metrics tell us about specialization and biological traits. *Ecology* 89, 3387–3399. <https://doi.org/10.1890/07-2121.1>
- Blüthgen, N., Klein, A.-M., 2011. Functional complementarity and specialisation: The role of biodiversity in plant–pollinator interactions. *Basic and Applied Ecology* 12, 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.11.001>
- Borges, R.C., Padovani, K., Imperatriz-Fonseca, V.L., Giannini, T.C., 2020. A dataset of multi-functional ecological traits of Brazilian bees. *Scientific Data* 7, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0461-3>
- Cagnolo, L., 2018. The Future of Ecological Networks in the Tropics, in: Dáttilo, W., Rico-Gray, V. (Eds.), *Ecological Networks in the Tropics*. Springer International Publishing, Cham, pp. 171–183. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_12
- Cantwell-Jones, A., Larson, K., Ward, A., Bates, O.K., Cox, T., Gibbons, C., Richardson, R., Al-Hayali, A.M.R., Svedin, J., Aronsson, M., Brannlund, F., Tylianakis, J.M., Johansson, J., Gill, R.J., 2023. Mapping trait versus species turnover reveals spatiotemporal variation in functional redundancy and network robustness in a plant-pollinator community. *Functional Ecology* 37, 748–762. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14253>
- Chase, M.H., Fraterrigo, J.M., Harmon-Threatt, A., 2023. Bee functional traits and their relationship to pollination services depend on many factors: A meta-regression analysis. *Insect Conserv Diversity* 16, 313–323. <https://doi.org/10.1111/icad.12635>
- Coux, C., Rader, R., Bartomeus, I., Tylianakis, J.M., 2016. Linking species functional roles to their network roles. *Ecology Letters* 19, 762–770. <https://doi.org/10.1111/ele.12612>
- Dell, J.E., Salcido, D.M., Lumpkin, W., Richards, L.A., Pokswinski, S.M., Loudermilk, E.L., O'Brien, J.J., Dyer, L.A., 2019. Interaction Diversity Maintains Resiliency in a Frequently Disturbed Ecosystem. *Front. Ecol. Evol.* 7, 145. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00145>

- Díaz, S., Cabido, M., 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution* 16, 646–655. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)
- Dyer, L.A., Walla, T.R., Greeney, H.F., Stireman Iii, J.O., Hazen, R.F., 2010. Diversity of Interactions: A Metric for Studies of Biodiversity. *Biotropica* 42, 281–289. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00624.x>
- Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J., Loreau, M., 2005. Functional Diversity of Plant–Pollinator Interaction Webs Enhances the Persistence of Plant Communities. *PLoS Biol* 4, e1. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040001>
- Gaüzère, P., O'Connor, L., Botella, C., Poggiato, G., Münkemüller, T., Pollock, L.J., Brose, U., Maiorano, L., Harfoot, M., Thuiller, W., 2022. The diversity of biotic interactions complements functional and phylogenetic facets of biodiversity. *Current Biology* 32, 2093–2100.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.03.009>
- Geslin, B., Gauzens, B., Thébault, E., Dajoz, I., 2013. Plant Pollinator Networks along a Gradient of Urbanisation. *PLoS ONE* 8, e63421. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063421>
- Hachuy-Filho, L., Ballarin, C.S., Amorim, F.W., 2020. Changes in plant community structure and decrease in floral resource availability lead to a high temporal β -diversity of plant–bee interactions. *Arthropod-Plant Interactions* 14, 571–583. <https://doi.org/10.1007/s11829-020-09774-5>
- Hegland, S.J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A., Totland, Ø., 2009. How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecology Letters* 12, 184–195. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x>
- Hiraiwa, M.K., Ushimaru, A., 2024. Loss of functional diversity rather than species diversity of pollinators decreases community-wide trait matching and pollination function. *Functional Ecology* 1365–2435.14527. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14527>
- Hortal, J., de Bello, F., Diniz-Filho, J.A.F., Lewinsohn, T.M., Lobo, J.M., Ladle, R.J., 2015. Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 46, 523–549. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>
- Ings, T.C., Hawes, J.E., 2018. The History of Ecological Networks, in: Dáttilo, W., Rico-Gray, V. (Eds.), *Ecological Networks in the Tropics*. Springer International Publishing, Cham, pp. 15–28. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_2
- Jordano, P., Bascompte, J., Olesen, J.M., 2002. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions: Invariant properties in coevolutionary networks. *Ecology Letters* 6, 69–81. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00403.x>
- Kaiser-Bunbury, C.N., Blüthgen, N., 2015. Integrating network ecology with applied conservation: a synthesis and guide to implementation. *AoB PLANTS* 7, plv076. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv076>
- Kaiser-Bunbury, C.N., Vázquez, D.P., Stang, M., Ghazoul, J., 2014. Determinants of the microstructure of plant–pollinator networks. *Ecology* 95, 3314–3324. <https://doi.org/10.1890/14-0024.1>
- Laliberté, E., Legendre, P., 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91, 299–305. <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>
- Lavorel, S., Garnier, E., 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16, 545–556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>
- Lázaro, A., Gómez-Martínez, C., Alomar, D., González-Estévez, M.A., Traveset, A., 2020. Linking species-level network metrics to flower traits and plant fitness. *J Ecol* 108, 1287–1298. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13334>
- Lin, W., Lai, S., Davis, A.J., Liu, W., Jordán, F., 2022. A network-based measure of functional diversity in food webs. *Biol. Lett.* 18, 20220183. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2022.0183>

- Maruyama, P.K., Sonne, J., Vizentin-Bugoni, J., Martín González, A.M., Zanata, T.B., Abrahamczyk, S., Alarcón, R., Araujo, A.C., Araújo, F.P., Baquero, A.C., Chávez-González, E., Coelho, A.G., Cotton, P.A., Dehling, D.M., Fischer, E., Kohler, G., Lara, C., Las-Casas, F.M.G., Machado, A.O., Machado, C.G., Maglianesi, M.A., Malucelli, T.S., Marín-Gómez, O.H., Oliveira, P.E., Ornelas, J.F., Ortiz-Pulido, R., Ramírez-Burbano, M.B., Rocca, M.A., Rodrigues, L.C., Rosero-Lasprilla, L., Rui, A.M., Sandel, B., Svenning, J., Tinoco, B.A., Varassin, I.G., Watts, S., Rahbek, C., Sazima, M., Schleuning, M., Dalsgaard, B., 2018. Functional diversity mediates macroecological variation in plant–hummingbird interaction networks. *Global Ecol Biogeogr* 27, 1186–1199. <https://doi.org/10.1111/geb.12776>
- Olesen, J.M., Bascompte, J., Dupont, Y.L., Elberling, H., Rasmussen, C., Jordano, P., 2011. Missing and forbidden links in mutualistic networks. *Proc. R. Soc. B.* 278, 725–732. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1371>
- Palmeirim, A.F., Emer, C., Benchimol, M., Storck-Tonon, D., Bueno, A.S., Peres, C.A., 2022. Emergent properties of species-habitat networks in an insular forest landscape. *Sci. Adv.* 8, eabm0397. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm0397>
- Pinto, C.E., Awade, M., Watanabe, M.T.C., Brito, R.M., Costa, W.F., Maia, U.M., Imperatriz-Fonseca, V.L., Giannini, T.C., 2020. Size and isolation of naturally isolated habitats do not affect plant-bee interactions: A case study of ferruginous outcrops within the eastern Amazon forest. *PLoS ONE* 15, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238685>
- Pugh, B.E., Field, R., 2022. Biodiversity: The role of interaction diversity. *Current Biology* 32, R423–R426. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.03.063>
- Raiol, R.L., Gastauer, M., Campbell, A.J., Borges, R.C., Awade, M., Giannini, T.C., 2021. Specialist Bee Species Are Larger and Less Phylogenetically Distinct Than Generalists in Tropical Plant–Bee Interaction Networks. *Front. Ecol. Evol.* 9, 699649. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.699649>
- Ritter, C.D., Forster, D., Azevedo, J.A.R., Antonelli, A., Nilsson, R.H., Trujillo, M.E., Dunthorn, M., 2021. Assessing Biotic and Abiotic Interactions of Microorganisms in Amazonia through Co-Occurrence Networks and DNA Metabarcoding. *Microb Ecol* 82, 746–760. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01719-6>
- Robinson, S.V.J., Losapio, G., Henry, G.H.R., 2018. Flower-power: Flower diversity is a stronger predictor of network structure than insect diversity in an Arctic plant–pollinator network. *Ecological Complexity* 36, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2018.04.005>
- Romeiro, L., Borges, R.C., Da Silva, E.F., Guimarães, J.T.F., Giannini, T.C., 2023. Assessing entomological collection data to build pollen interaction networks in the tropical Amazon forest. *Arthropod-Plant Interactions* 17, 313–325. <https://doi.org/10.1007/s11829-023-09968-7>
- Rumeu, B., Sheath, D.J., Hawes, J.E., Ings, T.C., 2018. Zooming into plant-flower visitor networks: an individual trait-based approach. *PeerJ* 6, e5618. <https://doi.org/10.7717/peerj.5618>
- Scaven, V.L., Rafferty, N.E., 2013. Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. *Current Zoology* 59, 418–426. <https://doi.org/10.1093/czoolo/59.3.418>
- Sebastián-González, E., Pires, M.M., Donatti, C.I., Guimarães, P.R., Dirzo, R., 2017. Species traits and interaction rules shape a species-rich seed-dispersal interaction network. *Ecology and Evolution* 7, 4496–4506. <https://doi.org/10.1002/ece3.2865>
- Tylianakis, J.M., Didham, R.K., Bascompte, J., Wardle, D.A., 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11, 1351–1363. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x>
- Vázquez, D.P., Blüthgen, N., Cagnolo, L., Chacoff, N.P., 2009. Uniting pattern and process in plant–animal mutualistic networks: a review. *Annals of Botany* 103, 1445–1457. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp057>

- Villalobos, S., Sevenello-Montagner, J.M., Vamosi, J.C., 2019. Specialization in plant–pollinator networks: insights from local-scale interactions in Glenbow Ranch Provincial Park in Alberta, Canada. *BMC Ecol* 19, 34. <https://doi.org/10.1186/s12898-019-0250-z>
- Villéger, S., Mason, N.W.H., Mouillot, D., 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89, 2290–2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- Vizentin-Bugoni, J., Maruyama, P.K., de Souza, C.S., Ollerton, J., Rech, A.R., Sazima, M., 2018. Plant-Pollinator Networks in the Tropics: A Review, in: Dáttilo, W., Rico-Gray, V. (Eds.), *Ecological Networks in the Tropics*. Springer International Publishing, Cham, pp. 73–91. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_6

APÊNDICES

Apêndice1. Caracterização dos 14 pontos amostrais na Floresta Nacional de Carajás

Ponto	Altitude (m)	Floresta	Latitude	Longitude
CN01	705	Ombrófila aberta	-6.175786	-50.40909
CN02	680	Ombrófila aberta	-6.174531	-50.37667
CN03	692	Ombrófila aberta	-6.173898	-50.37792
CN04	662	Ombrófila aberta	-6.148752	-50.42119
CN05	670	Ombrófila aberta	-6.145874	-50.43998
CN06	412	Ombrófila aberta	-6.137579	-50.45285
CN07	603	Ombrófila aberta	-6.171360	-50.35343
CN08	466	Estacional Sempre- Verde	-6.171656	-50.35259
CN09	384	Estacional Sempre- Verde	-6.202350	-50.34388
CN10	625	Estacional Decidual	-6.215823	-50.31776
CN11	698	Ombrófila aberta	-6.244426	-50.31531
CN12	694	Ombrófila aberta	-6.284544	-50.33622
CN13	710	Capão florestal	-6.142360	-50.17405
CN14	703	Capão florestal	-6.161556	-50.16644

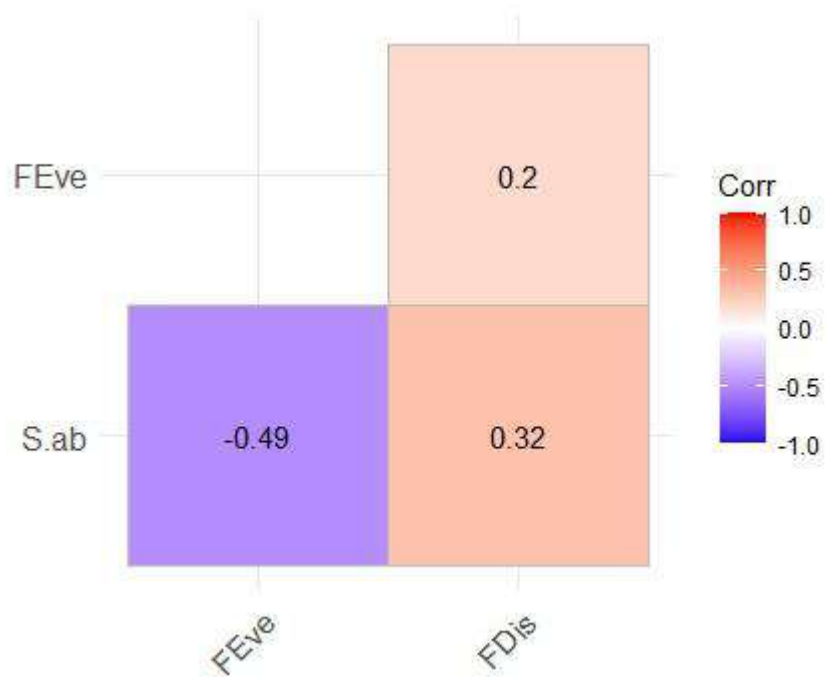
Apêndice 2. Características funcionais das abelhas e suas funções (fonte: Borges et al. 2020).

Características das abelhas	Função
ITD	Medição da largura do mesoscuto do espécime
Socialidade	Organização social das espécies
Construção de ninho (nest_construction)	Tipo de nidificação da espécie e interações com outras espécies para substrato de nidificação
Construtor (nesting)	Tipo de construtor de ninho
Polinizador de agricultura	Espécies citadas como polinizadoras de culturas

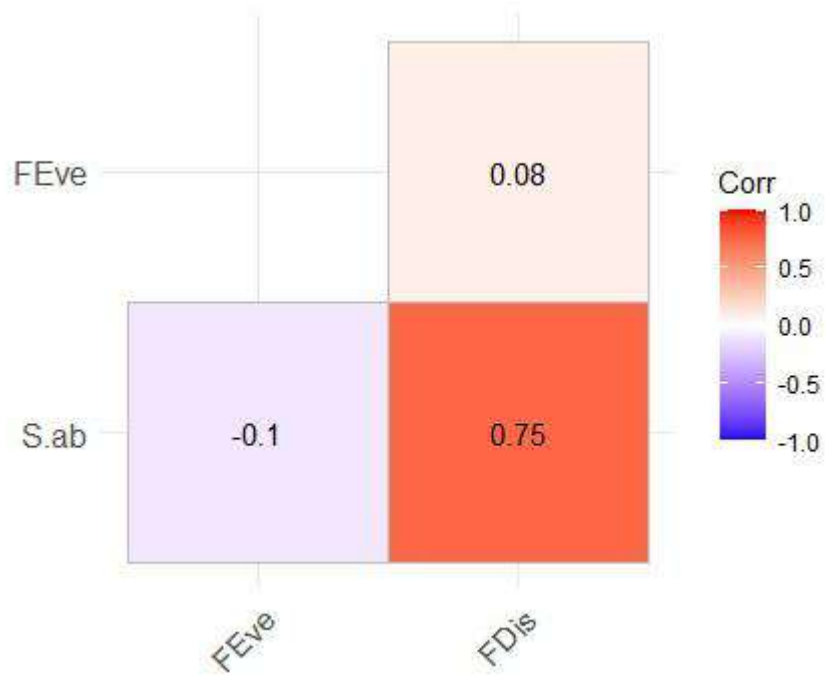
Apêndice 3. Características funcionais das plantas e suas funções

Características das plantas	Função	Referência
Tamanho da flor	Classes de tamanho baseado na corola	Viana et al., 2016
Cor	Padrão de coloração reportado na literatura	Viana et al., 2016
Síndrome de polinização	Classificação que fornece indicação do grupo mais provável de polinizadores	TRY Plant Trait Database, 2023
Tipo de flor	Classificação baseada nas relações evolutivas flor-polinizador de Leppik (1957)	Radford, 1998
Simetria da flor	Planos de simetria floral	Viana et al., 2016; TRY Plant Trait Database, 2023
Estrutura floral	Classificação de acordo com o modo de polinização e à sua estrutura funcional	K. Faegri & L. Van Der PIJL, 1979
Tipo de Inflorescência	Classificação baseada principalmente no arranjo e desenvolvimento	Viana et al., 2016; TRY Plant Trait Database, 2023

Apêndice 4. Correlação das métricas de diversidade funcional das abelhas.



Apêndice 5. Correlação das métricas de diversidade funcional das plantas.



Apêndice 6. Espécies de abelhas coletadas nas redes de interação na Floresta Nacional de Carajás.

Código	Nome científico
Bee_01	1. <i>Ancyloscelis</i> sp
Bee_02	2. <i>Aparatrigona impunctata</i> Ducke 1916
Bee_03	3. <i>Apis mellifera</i> Linnaeus 1758
Bee_04	4. <i>Augochlora</i> sp.04
Bee_05	5. <i>Augochloropsis hebesceus</i> Smith 1879
Bee_06	6. <i>Cephalotrigona femorata</i> Smith 1854
Bee_07	7. <i>Ceratina</i> subgenus <i>crewella</i> sp.08
Bee_08	8. <i>Ceratina</i> subgenus <i>crewella</i> sp.09
Bee_09	9. <i>Ceratina</i> subgenus <i>ceratinula</i> sp.9
Bee_10	10. <i>Ceratina</i> subgenus <i>crewella</i> sp.10
Bee_11	11. <i>Ceratina</i> subgenus <i>ceratinula</i> sp.10
Bee_12	12. <i>Ceratina</i> subgenus <i>crewella</i> sp.11
Bee_13	13. <i>Ceratina</i> subgenus <i>ceratinula</i> sp.11
Bee_14	14. <i>Eufriesea superba</i> Hoffmannsegg 1817
Bee_15	15. <i>Euglossa</i> sp.01
Bee_16	16. <i>Eulonchopria limbella</i> Vachal 1909
Bee_17	17. <i>Exaerete frontalis</i> Guérin 1944
Bee_18	18. <i>Frieseomelitta doederleini</i> Friese 1900
Bee_19	19. <i>Frieseomelitta flavicornis</i> Fabricius 1798
Bee_20	20. <i>Frieseomelitta longipes</i> Smith 1854
Bee_21	21. <i>Geotrigona subnigra</i> Schwarz 1940
Bee_22	22. <i>Megachile</i> sp.02
Bee_23	23. <i>Melipona amazonica</i> Schulz 1905
Bee_24	24. <i>Melipona flavolineata</i> Friese 1900
Bee_25	25. <i>Melipona nebulosa</i> Camargo 1988
Bee_26	26. <i>Melipona puncticollis</i> Friese 1902
Bee_27	27. <i>Melipona seminigra pernigra</i> Moure & Kerr 1950
Bee_28	28. <i>Nannotrigona punctata</i> Smith 1854
Bee_29	29. <i>Nannotrigona schultzei</i> Friese 1901
Bee_30	30. <i>Neocorynura tarpeia</i> Smith 1853
Bee_31	31. <i>Oxytrigona ignis</i> Camargo 1984
Bee_32	32. <i>Paratetrapedia leucostoma</i> Cockerell 1923
Bee_33	33. <i>Paratetrapedia testacea</i> Smith 1854
Bee_34	34. <i>Paratrigona crassicornis</i> Camargo & Moure 1994

Código**Nome científico**

Bee_35	35. <i>Partamona vicina</i> Camargo 1980
Bee_36	36. <i>Plebeia fraterna</i> Laroca & Rodriguez-Parilli 2009
Bee_37	37. <i>Plebeia goeldiana</i> Friese 1900
Bee_38	38. <i>Ptilotrigona lurida</i> Smith 1854
Bee_39	39. <i>Scaptotrigona nigrohirta</i> Nogueira & Santos-Silva 2022
Bee_40	40. <i>Scaptotrigona polysticta</i> Moure 1950
Bee_41	41. <i>Scaptotrigona postica</i> Latreille 1807
Bee_42	42. <i>Tetragona clavipes</i> Fabricius 1804
Bee_43	43. <i>Tetragona dorsalis</i> Smith 1854
Bee_44	44. <i>Tetragona goettei</i> Friese 1900
Bee_45	45. <i>Tetragona truncata</i> Moure 1971
Bee_46	46. <i>Tetragonisca angustula</i> Latreille 1811
Bee_47	47. <i>Trigona amalthea</i> Olivier 1798
Bee_48	48. <i>Trigona chanchamayoensis</i> Schwarz 1948
Bee_49	49. <i>Trigona cilipes</i> Fabricius 1804
Bee_50	50. <i>Trigona dimidiata</i> Smith 1854
Bee_51	51. <i>Trigona guianae</i> Cockerell 1910
Bee_52	52. <i>Trigona hypogea</i> Silvestre 1902
Bee_53	53. <i>Trigona lacteipennis</i> Friese 1900
Bee_54	54. <i>Trigona pallens</i> Fabricius 1798
Bee_55	55. <i>Trigona recursa</i> Smith 1853
Bee_56	56. <i>Trigona truculenta</i> Almeida 1984
Bee_57	57. <i>Trigona williana</i> Friese 1900
Bee_58	58. <i>Xenochlora nigrofemorata</i> Smith 1879
Bee_59	59. <i>Xylocopa frontalis</i> Olivier 1789
Bee_60	60. <i>Xylocopa</i> sp.

Apêndice 7. Espécies de plantas coletadas nas redes de interação na Floresta Nacional de Carajás

Código	Família	Nome Científico
Plant_01	Melastomataceae	1. <i>Aciotis acuminifolia</i> (Mart. ex DC.) Triana
Plant_02	Fabaceae	2. <i>Aeschynomene americana</i> var. <i>glandulosa</i> (Poir.) Rudd
Plant_03	Malvaceae	3. <i>Allobriquetia spicata</i> (Kunth) Bovini
Plant_04	Malpighiaceae	4. <i>Banisteriopsis muricata</i> (Cav.) Cuatrec.
Plant_05	Asteraceae	5. <i>Bidens bipinnata</i> L.
Plant_06	Rubiaceae	6. <i>Borreria ocymifolia</i> (Roem. & Schult.) Bacigalupo & E.L.Cabral
Plant_07	Rubiaceae	7. <i>Borreria semiamplexicaule</i> E.L.Cabral
Plant_08	Rubiaceae	8. <i>Borreria</i> sp1
Plant_09	Rubiaceae	9. <i>Borreria verticillata</i> (L.) G.Mey.
Plant_10	Melastomataceae	10. <i>Brasilianthus carajensis</i> Almeda & Michelangeli
Plant_11	Malpighiaceae	11. <i>Byrsonima chrysophylla</i> Kunth
Plant_12	Polygalaceae	12. <i>Caamembeca spectabilis</i> (DC.) J.F.B.Pastore
Plant_13	Lamiaceae	13. <i>Cantinoa mutabilis</i> (Rich.) Harley & J.F.B.Pastore
Plant_14	Asteraceae	14. <i>Cavalcantia glomerata</i> (G.M.Barroso & R.M.King) R.M.King & H.Rob.
Plant_15	Poaceae	15. <i>Cenchrus polystachios</i> (L.) Morrone
Plant_16	Apiaceae	16. <i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.
Plant_17	Fabaceae	17. <i>Chamaecrista flexuosa</i> var. <i>flexuosa</i> (L.) Greene
Plant_18	Fabaceae	18. <i>Chamaecrista nictitans</i> subsp. <i>patellaria</i> (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby
Plant_19	Fabaceae	19. <i>Chamaecrista trichopoda</i> (Benth.) Britton & Rose ex Britton & Killip
Plant_20	Combretaceae	20. <i>Combretum laxum</i> Jacq.
Plant_21	Euphorbiaceae	21. <i>Croton hadriani</i> Baill.
Plant_22	Euphorbiaceae	22. <i>Croton</i> sp.
Plant_23	Lythraceae	23. <i>Cuphea annulata</i> Koehne
Plant_24	Lythraceae	24. <i>Cuphea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F.Macbr.
Plant_25	Asteraceae	25. <i>Elephantopus</i> cf. <i>mollis</i>
Plant_26	Asteraceae	26. <i>Elephantopus mollis</i> Kunth
Plant_27	Bignoniaceae	27. <i>Fridericia patellifera</i> (Schltdl.) L.G.Lohmann
Plant_28	Malvaceae	28. <i>Helicteres eitenii</i> Leane
Plant_29	Poaceae	29. <i>Hildaea pallens</i> (Sw.) C.Silva & R.P.Oliveira
Plant_30	Lamiaceae	30. <i>Hyptis atrorubens</i> Poit.
Plant_31	Acanthaceae	31. <i>Justicia birae</i> A.S.Reis, F.A.Silva, A.Gil & Kameyama
Plant_32	Acanthaceae	32. <i>Justicia mcdadeana</i> A.S. Reis, A. Gil & Kameyama
Plant_33	Asteraceae	33. <i>Lepidaploa arenaria</i> (Mart. ex DC.) H.Rob.
Plant_34	Onagraceae	34. <i>Ludwigia erecta</i> (L.) H.Hara
Plant_35	Euphorbiaceae	35. <i>Manihot tristis</i> Müll.Arg.
Plant_36	Lamiaceae	36. <i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntze
Plant_37	Verbenaceae	37. <i>Mesosphaerum pectinatum</i> (L.) Kuntze
Plant_38	Lamiaceae	38. <i>Mesosphaerum suaveolens</i> (L.) Kuntze
Plant_39	Fabaceae	39. <i>Mimosa acutistipula</i> (Mart.) Benth.
Plant_40	Fabaceae	40. <i>Mimosa debilis</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.
Plant_41	Fabaceae	41. <i>Mimosa pudica</i> var. <i>hispida</i> Brenan
Plant_42	Fabaceae	42. <i>Mimosa skinneri</i> var. <i>carajarum</i> Barneby
Plant_43	Loganiaceae	43. <i>Mitreola petiolata</i> (J.F.Gmel.) Torr. & A.Gray
Plant_44	Convolvulaceae	44. <i>Operculina hamiltonii</i> (G.Don) D.F.Austin & Staples
Plant_45	Oxalidaceae	45. <i>Oxalis barrelieri</i> L.
Plant_46	Poaceae	46. <i>Paspalum virgatum</i> L.

Código	Família	Nome Científico
Plant_47	Malpigiaceae	47. <i>Peixotoa reticulata</i> Griseb.
Plant_48	Fabaceae	48. <i>Periandra coccinea</i> (Schrader.) Benth.
Plant_49	Piperaceae	49. <i>Piper goeldii</i> C.DC.
Plant_50	Polygalaceae	50. <i>Polygala paniculata</i> L.
Plant_51	Melastomataceae	51. <i>Pterolepis trichotoma</i> (Rottb.) Cogn.
Plant_52	Asteraceae	52. <i>Riencourtia pedunculosa</i> (Rich.) Pruski
Plant_53	Gentianaceae	53. <i>Schultesia benthamiana</i> Klotzsch ex Griseb
Plant_54	Fabaceae	54. <i>Senegalia multipinnata</i> (Ducke) Seigler & Ebinger
Plant_55	Fabaceae	55. <i>Senna pendula</i> (Humb.& Bonpl.ex Willd.) H.S.Irwin & Barneby
Plant_56	Fabaceae	56. <i>Senna quinquangulata</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby
Plant_57	Sapindaceae	57. <i>Serjania confertiflora</i> Radlk.
Plant_58	Sapindaceae	58. <i>Serjania lethalis</i> A.St.-Hil.
Plant_59	Sapindaceae	59. <i>Serjania</i> sp
Plant_60	Malvaceae	60. <i>Sida rhombifolia</i> L.
Plant_61	Malvaceae	61. <i>Sida tuberculata</i> R.E.Fr
Plant_62	Malvaceae	62. <i>Sida urens</i> L.
Plant_63	Solanaceae	63. <i>Solanum schlechtendalianum</i> Walp.
Plant_64	Poaceae	64. Poaceae sp.1
Plant_65	Loganiaceae	65. <i>Spigelia flemmingiana</i> Cham. & Schltdl.
Plant_66	Verbenaceae	66. <i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl
Plant_67	Fabaceae	67. <i>Stylosanthes capitata</i> Vogel
Plant_68	Eriocaulaceae	68. <i>Syngonanthus discretifolius</i> (Moldenke) M.T.C.Watan.
Plant_69	Poaceae	69. <i>Taquara micrantha</i> Kunth
Plant_70	Turneraceae	70. <i>Turnera laciniata</i> Arbo
Plant_71	Turneraceae	71. <i>Turnera melochioides</i> Cambess.
Plant_72	Poaceae	72. <i>Urochloa decumbens</i> (Stapf) R.D.Webster
Plant_73	Hypericaceae	73. <i>Vismia gracilis</i> Hieron.
Plant_74	Xyridaceae	74. <i>Xyris brachysepala</i> Kral

Apêndice 8. Valor de p da análise de variância (ANOVA) e regressão linear da relação entre as características das abelhas e a especialização d

Características de abelhas	Valor de p
ITD	0.345
Polinizador de agricultura	0.409
Construtor (Nesting)	0.523
Construção de ninho (Nest_construction)	0.827
Socialidade	0.085

Apêndice 9. Valor de p da análise de variância (ANOVA) da relação entre as características das plantas e a especialização d'.

Características de plantas	Valor de p
Tamanho da flor	0.266
Cor	0.079
Tipo de flor	0.584
Estrutura floral	0.833
Síndrome de polinização	0.112
Simetria da flor	0.453
Tipo de inflorescência	0.317

Apêndice 10. Rede de interações entre planta e abelhas da Floresta Nacional de Carajás (códigos podem ser encontrados nos Apêndices 6 e 7).

