



SEBASTIÃO MAXIMIANO CORRÊA GENELHÚ

**NICHO TRÓFICO E REDES DE INTERAÇÃO DE
MORCEGOS FRUGIVOROS NA PROVÍNCIA CÁRSTICA DO
ALTO SÃO FRANCISCO**

**LAVRAS – MG
2022**

SEBASTIÃO MAXIMIANO CORRÊA GENELHÚ

**NICHO TRÓFICO E REDES DE INTERAÇÃO DE MORCEGOS FRUGIVOROS NA
PROVÍNCIA CÁRSTICA DO ALTO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Renato Gregorin

Orientador

Dr. Rafael Laurindo

Coorientador

LAVRAS – MG

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Genelhú, Sebastião Maximiano Corrêa.

Nicho Trófico e Redes de Interação de Morcegos Frugívoros na
Província Cárstica do Alto São Francisco / Sebastião Maximiano
Corrêa Genelhú. - 2022.

96 p. : il.

Orientador: Renato Gregorin.

Coorientador: Rafael Laurindo.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Morcegos. 2. Nicho Trófico. 3. Redes de Interação. I.
Gregorin, Renato. II. Laurindo, Rafael. III. Título.

SEBASTIÃO MAXIMIANO CORRÊA GENELHÚ

**NICHO TRÓFICO E REDES DE INTERAÇÃO DE MORCEGOS FRUGIVOROS NA
PROVÍNCIA CÁRSTICA DO ALTO SÃO FRANCISCO**

**TROPHIC NICHE AND INTERACTION NETWORKS OF FRUGIVOROUS BATS IN
THE KARSTIC PROVINCE OF ALTO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos em Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de Julho de 2022.

Dr. Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi, UFLA/MG

Dr. Hernani Fernandes Magalhães de Oliveira, UnB/DF

Dr. Renato Gregorin

Orientador

Dr. Rafael Laurindo

Coorientador

**LAVRAS – MG
2022**

*Aos meu pais, Sebastião e Vivalda, aos meus irmãos, Geraldo, Rivaldo, Denise e Igor, e aos
meu sobrinhos;*

A memória dos meus amigos Antônio e Felipe, e minha tia Dalva.

Dedico

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, pela oportunidade de realização do mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

Gostaria de agradecer ao Renato Gregorin, meu orientador, pelo convite à participar do projeto, também pelo apoio e pelos valiosos conselhos.

Ao meu coorientador Rafael Laurindo, pelo desafio de trabalhar com Redes de Interação, agradeço o apoio e as valiosas contribuições para execução desse trabalho.

Aos professores do Programa de Ecologia Aplicada, por todos os ensinamentos e auxílio, em especial ao professor Lucas Del Bianco pelo auxílio nas análises e ponderações. Aos amigos Leopoldo, Ligiane e Chaim pelas contribuições durante a qualificação.

Ao Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos, Ivan, Jaleesa, Gabi, Naiara, Ana Ligo, Mateus, em especial ao Arthur por compartilhar vários dias de campo, perrenges, sacrifícios, batidas policiais e também as coisas boas (foram muitas também). Em especial também a Letícia por ser uma luz nesses últimos meses.

Aos amigos Moacir, Rosana e Alexandre pela hospitalidade e pelo apoio nas horas difíceis. Aos proprietários das áreas que realizamos as coletas, por permitir que esse trabalho fosse feito.

A minha família por todo apoio, aos meus pais, Sebastião e Vivalda, irmãos, sobrinhos, primos e tios mais presentes (Debates do Mimimi), pelo apoio e palavras de incentivos.

Aos amigos de trabalho que me incentivaram a fazer o mestrado, em especial ao Rafael Vaca, Pedro, Rênea, Roberta, Charlão, Osmar, Asterix, Itú, Gislene, e colegas que fiz durante o processo, principalmente aos amigos do Mestrado, Júlio, Sofia e Paulo. A Maria Edwiges Barreira pelos conselhos e preciosa ajuda. A todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a construção desse trabalho.

*“Não sou nada.
Nunca serei nada.
Não posso querer ser nada.
À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo.”*
Álvaro de Campos

RESUMO

Morcegos desempenham diversas funções tróficas tendo um papel fundamental no funcionamento do ecossistema, devido principalmente a sua alta diversidade e abundância nas regiões tropicais. Essas funções têm sido estudadas nas últimas décadas, em especial, a frugivoria e a dispersão de sementes, por serem consideradas interações essenciais para a preservação das dinâmicas ecológicas e evolutivas. Duas formas de estudar essa relação são a análises de nicho trófico e as redes de interação. Nicho trófico está relacionado com a dieta de morcegos e é estudado mediante a coleta de amostras fecais. Redes de interação diz respeito a métricas capazes de expressar um conjunto de interações entre espécies em uma comunidade. Nesse sentido, a presente dissertação é dividida em dois capítulos, o primeiro buscando investigar a diversidade da dieta de morcegos frugívoros em uma região cárstica em Minas Gerais, e o segundo capítulo foram testando como os aspectos da diversidade taxonômica, funcional e filogenética dos morcegos influenciam na estrutura das redes de interação entre plantas-morcegos nas áreas coletadas. Foram realizadas seis expedições de campo ao longo de um ano, entre fevereiro de 2020 a abril de 2021, abrangendo as estações seca e chuvosa, incluindo 12 pontos de amostragem. As amostras fecais coletadas durante o manuseio dos animais na rede, e nos sacos de pano, foram colocadas em microtúbulos plásticos contendo álcool 70%, etiquetados, e então levados ao laboratório para análise em estereomicroscópio. Os resultados encontrados sugerem que espécies de morcegos ecologicamente semelhantes ocupam nichos tróficos diferenciados, garantindo a coexistência mediada pela partição de recursos, e que os índices de diversidade podem afetar de forma diferente as propriedades da rede de interação.

Palavras-chave: Diversidade Filogenética. Diversidade Funcional. Diversidade Taxonômica. Frugivoria. Nicho Trófico. Quirópteros. Redes de Interação.

ABSTRACT

Bats perform several trophic roles, having a fundamental role in the functioning of the ecosystem, mainly due to their high diversity and abundance in tropical regions. These functions have been studied in recent decades, especially frugivory and seed dispersal, as they are considered essential interactions for the preservation of ecological and evolutionary dynamics. Two ways of studying this relationship are trophic niche analysis and interaction networks. Trophic niche is related to the diet of bats and is studied by collecting fecal samples. Interaction networks concerns metrics capable of expressing a set of interactions between species in a community. In this sense, the present dissertation is divided into two chapters, the first seeking to investigate the diversity of the diet of fruit bats in a karst region in Minas Gerais, and the second chapter testing which aspects of taxonomic, functional and phylogenetic diversity of bats influence the structure of the interaction networks between bat-plants in the collected areas. Six field expeditions were carried out over a year, between February 2020 and April 2021, covering the dry and rainy seasons, including 12 sampling points. The fecal samples collected during the handling of the animals in the net, and in the cloth bags, were placed in plastic microtubules containing 70% alcohol, labeled, and then taken to the laboratory for analysis under a stereomicroscope. The results found suggest that ecologically similar bat species occupy different trophic niches, ensuring coexistence mediated by resource partition, and that diversity indices can affect differently the properties of the interaction network.

Keywords: Phylogenetic Diversity. Functional Diversity. Taxonomic Diversity. Frugivory. Trophic Niche. Chiropterans. Interaction Networks.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	01
INTRODUÇÃO GERAL	02
REFERÊNCIAS	04
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	06
ARTIGO 1 - SEASONAL DIETARY NICHE CHANGES IN NEOTROPICAL BAT	06
ARTIGO 2 - EFEITOS DAS DIMENSÕES DA BIODIVERSIDADE (FILOGENÉTICA, FUNCIONAL E TAXONÔMICA) DOS MORCEGOS FRUGIVOROS NA ESTRUTURA DE REDES ECOLOGICAS	48

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

Os morcegos desempenham papel fundamental nos ecossistemas, particularmente os tropicais, onde a diversidade e complexidade do grupo são acentuadas, e devido à sua variabilidade de hábitos alimentares, participam de diversos processos ecológicos no ambiente (PATTERSON et al., 2003; LOBOVA et al., 2009). Assim, morcegos são relevantes para a manutenção de áreas naturais e recomposição de áreas degradadas, uma vez que participam do processo reprodutivo, estabelecimento e variabilidade genética de plantas mediante dispersão de sementes pelos frugívoros e transferência de pólen pelos morcegos nectarívoros (BIANCONI et al., 2007; FABIAN et al., 2008). Segundo Bredt et al. (2012), ao menos sementes de 542 espécies de plantas são dispersas por morcegos, que atuam como peças fundamentais nos processos de sucessão de áreas degradadas e clareiras naturais (MULLER; REIS, 1992). Além disso, esses animais são considerados potenciais indicadores do grau de distúrbio de um ecossistema devido ao fato de explorarem diferentes recursos tróficos (FENTON et al. 1992).

Neste contexto, destaca-se os morcegos da família Phyllostomidae que são considerados um dos principais dispersores de sementes em ambientes tropicais (LAURINDO et al, 2019; LOBOVA, 2009; FABIÁN et al., 2008). Esse papel desempenhado está sujeito a mudanças temporais e espaciais na distribuição de recursos alimentares, à sazonalidade climática, e diferentes exigências energéticas, o que acabam por influenciar tanto a estrutura como os padrões de interação presentes na comunidade local (KLINGBEIL; WILLIG, 2009; PINTO; KEIT, 2008). Nesse sentido pesquisas sobre a dieta dessas espécies, através de análises fecais (CASTAÑO et al., 2018), e a descrição da estrutura dessa relação mutualísticas através de um amplo conjunto de métricas da teoria redes (BASCOMPTE; JORDANO, 2013) melhoraram a compreensão de como impactos antrópicos, como a perda e fragmentação de habitats, afetam as funções e serviços do ecossistema (LAURINDO et al., 2019; LAURINDO et al., 2020).

Apresentada essas informações, elaborou-se essa dissertação na Província Carbonática Espeleológica de Arcos, Pains e Doresópolis, região caracterizada pela ocorrência de rochas carbonáticas e silto-argilosas (MENEGASSE et al., 2002). A região de estudo apresenta vegetação característica e chamada de “Mata de Pains” (VIEIRA, 2001), devido a existência do predomínio de floresta estacional semidecidual, na base e entre os afloramentos calcários, e a floresta estacional decidual, abrangendo as “matas-secas” sobre os afloramentos.

A dissertação foi dividida em dois capítulos, no primeiro analisamos o hábito alimentar de morcegos frugívoros da família Phyllostomidae buscando identificar quais são os itens mais

importantes na dieta destes, e verificando se a coexistência de espécies de morcegos morfológicamente semelhantes é facilitada pela diferenciação de nicho alimentar com base na variação sazonal. Porém essa variação pode ser quase que imperceptível, para tentar resolver esse problema aplicamos uma metodologia nova de decomposição do nicho (WitOMI). Nossos resultados mostraram que há maior sobreposição de nicho nas estações mais secas, e os mecanismos que promovem a alta diversidade local de morcegos frugívoros são provavelmente o resultado da especialização da dieta durante a abundância, levando a nichos mais amplos, e a adoção de estratégias mais gerais em tempos de baixa disponibilidade.

No segundo capítulo testamos quais e como índices da diversidade dos morcegos (taxonômica, funcional e filogenética) influenciam na estrutura rede de interação entre plantas-morcegos. Para isso construímos 12 redes de interações entre planta-morcegos, calculamos os índices de diversidade e as métricas de redes e rodamos modelos lineares entre eles. Nossa hipótese inicial era que os índices de diversidade funcional dos morcegos seriam o melhor preditor de diversidade para métricas de redes, e isso foi apenas parcialmente apoiado. Nossos resultados mostraram que as métricas são sensíveis a índices influenciados pela abundância de morcegos, sugerindo que os índices de diversidade podem afetar de forma diferente as propriedades da rede de interação.

REFERÊNCIAS

- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. **Mutualistic Networks**. Princeton University Press, 206p. 2013.
- BIANCONI, G.V.; MIKICH, S.B.; TEIXEIRA, S.D.; MAIA, B.H.L.N.S. Attraction of fruit-eating bats with essential oils of fruits: a potential tool for forest restoration. **Biotropica**, v. 39, n.1, p. 136-140. 2007.
- BREDT, A.; UIEDA, W.; PEDRO, W. A. **Plantas e morcegos na recuperação de áreas degradadas e na paisagem urbana**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 275 p. 2012.
- CASTAÑO, J.H.; CARRANZA, J.A.; PÉREZ-TORRES, J. Diet and trophic structure in assemblages of montane frugivorous phyllostomid bats. **Acta Oecologica** 91:81–90. 2018.
- FABIÁN, M. E.; RUI, A. M. e WAECHTER, J. L. Plantas utilizadas como alimento por morcegos (Chiroptera, Phyllostomidae), no Brasil. *In*: Reis, N. R., Peracchi, A. L., e Santos, G. A. S. D. (Ed.). **Ecologia de Morcegos**. Londrina: Technical Books Editora. 2008.
- FENTON, M.B.; ACHARYA, L.; AUDET, D.; HICKEY, M.B.C.; MERRIMAN, C.; OBRIST, M.K.; SYME, D.M. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. **Biotropica**, 24: 440-446. 1992.
- KLINGBEIL, B.T.; WILLIG, M.R. Guild-specific responses of bats to landscape composition and configuration in fragmented Amazonian rainforest. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.46, n.1, p. 203-213. 2009.
- LAURINDO, R.S., VIZENTIN-BUGONI, J., TAVARES, D.C. *et al.* Drivers of bat roles in Neotropical seed dispersal networks: abundance is more important than functional traits. **Oecologia** 193, 189–198. 2020.
- LAURINDO, R.S.; NOVAES, R.L.M.; VICENTIN-BUGONI, J; GREGORIN, R. The effects of habitat loss on bat-fruit networks. **Biodiversity and Conservation**, v.29, n. 3, p. 589-601. 2019.
- LOBOVA, T.A.; GEISELMAN, C.K; MORI, S.A. **Seed dispersal by bats in the Neotropics**. New York: New York Botanical Garden Press. 2009.
- MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L.M. Disponibilidade hídricas na Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**. N. 16. Maio, São Paulo: ABAS. p. 1-19. 2002.
- MULLER, M. F.; REIS, N. R. Partição de recursos alimentares entre quatro espécies de morcegos frugívoros (Chiroptera, Phyllostomidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, 9 (3/4): 345-355. 2 XI Congresso de Ecologia do Brasil, Setembro 2013, Porto Seguro – BA. 1992.

PATTERSON, B.D.; WILLIG, M.R.; STEVENS, R.D. Trophic strategies niche partitioning, and patterns of ecological organization. In: KUNZ, T.H.; FENTON, M.B. (Eds.). **Bat Ecology**. 2nd. ed. Chicago: The University of Chicago Press. p. 536-579. 2003.

PINTO, N.; KEITT, T.H. Scale-dependent responses to forest cover displayed by frugivore bats. **Oikos**, Buenos Aires, v.117, n.11, p.1725-1731. 2008.

VIEIRA, G.G. Mata de Pains e Cabeceiras do São Francisco: ecossistemas sob tensão antrópica. **Anais XXVI CBE/XII ICS**. Vol. I. Brasília: SBE. 256p. 2001.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 - SEASONAL DIETARY NICHE CHANGES IN NEOTROPICAL BATS

ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A REVISTA JOURNAL OF TROPICAL ECOLOGY

Seasonal dietary niche changes in Neotropical bats

*Sebastião Maximiano Corrêa Genelhú¹², orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4773-0735>

Rafael de Souza Laurindo³, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9326-3509>

Arthur Setsuo Tahara¹², <https://orcid.org/0000-0002-6148-5828>

Letícia Langsdorff Oliveira¹, <https://orcid.org/0000-0002-2352-6959>

Renato Gregorin¹⁴ orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2324-3203>

1 - Centro de Biodiversidade e Recursos Genéticos, Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

2 – Departamento de Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

3 – Instituto Sul Mineiro de Estudos e Conservação da Natureza (ISMECN), Campo Belo
(MG), Brasil;

4 - Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037
– 37200-000 – Lavras, MG – Brazil.

* Corresponding author. Email: sebastiao Genelhum@gmail.com

Short Running Title:

Seasonal dietary in bats.

Keywords:

Diet, frugivory, bats, mutualism, Neotropical Region, subniche.

Cover Letter:

Vojtech Novotny, PhD.

Editor-in-Chief

Journal of Tropical Ecology

Dear Professor Novotny

We are submitting our manuscript entitled “Seasonal dietary niche changes in neotropical bats”, for consideration as a research article in this Journal.

Pollination and seed dispersal are key roles played by phytophagous bats in plant reproduction. The second attribute emerges as a powerful methodology by which ecologists can establish the trophic niche and subniche configuration since the seeds found in bat fezes enable diet habits to be pinpointed.

This manuscript takes a different approach to previous studies, given that we use WitOMI, a refined analysis for the realized niche decomposition. Besides, this paper may interest your readers because in the Neotropics, as mining is one of the causes behind the conversion of native landscapes, this work can contribute to strategies that minimize anthropic actions in such activity.

ABSTRACT

In the vast Neotropic seasonal environment, the most diverse family of bats, the Phyllostomidae (leaf-nosed bats), includes up 93 species. As the quality and quantity of food resources fluctuate in habitats, diet heterogeneity is observed among bat species and regions of the Neotropics. In this study, we investigated by fecal analyses, how the trophic niche of eight phyllostomidae bat species (*Artibeus planirostris*, *A. fimbriatus*, *Carollia brevicauda*, *C. perspicillata*, *Chiroderma villosum*, *Glossophaga soricina*, *Platyrrhinus lineatus*, and *Sturnira lilium*) that occur in a karstic area in the Midwest region of Minas Gerais, Brazil, change in response to seasonal food availability. We recorded the consumption of insects and nine plant families, Moraceae the most frequent, followed by Piperaceae. Given that seasonal dietary changes can be subtle and hardly noticeable along with fluctuating habitat conditions, we performed the trophic niche decomposition of the eight bats species into subniches, by analyzing the data with the WitOMI. By improving the accuracy and details of the results we assessed the effects of abiotic (precipitation and environmental temperature) and biotic (quantity and quality of food resources) interactions within the phyllostomid bat community. For each species, we compared niche breadth and overlap, and we found higher values for the drier season among morphologically similar species. Results from our study and others suggest that ecologically similar bat species occupy different trophic niches, ensuring coexistence mediated by resource partition.

1 – INTRODUCTION

The ecological niche (EN) concept expresses the relationship of an individual or a population to all aspects of its environment (Hutchinson 1957). Recently, the EN definition was refined and two distinct niche components, Grinnellian and Eltonian, were proposed (Soberon 2007, Stevens 2022a). Environmental conditions and climate heterogeneity determines the Grinnellian niche, whereas Eltonian niche definition expresses the local interactions between consumers and resources (Stevens 2022a). The EN theory also predicts that similar species will coexist in the same community, if they show at least one different niche dimension (Chase *et al.* 2002, Geange *et al.* 2011, MacArthur 1958, Ruadreo *et al.* 2019), i.e., period of activity (Mancina & Castro-Arellano 2013), use of space (Castaño *et al.* 2018, Pearman *et al.* 2008) or partitioning of food resources (Bolnick *et al.* 2010, Faustino *et al.* 2021, Stephens & Krebs 1986).

The partitioning of food resources, or trophic niches (TN), plays an important role in decreasing interspecific competition, thus allowing the stable coexistence of functionally similar species at different temporal and spatial scales (Castaño *et al.* 2018, Clare *et al.* 2009, Fleming 1991, García-Estrada *et al.* 2012, Kunz & Parsons 1988, Painter *et al.* 2009). This ecological mechanism is an important determinant in the structuring of the bat community, which in many cases consists of several ecologically and morphologically similar species (i.e. size, mobility, type, and form of foraging) that inhabit the same place (Bolnick *et al.* 2010, Shipley & Twining 2020, Stevens 2022b). Example of this is Phyllostomidae family is the most taxonomically diverse bat family both in terms of the number of genera and feeding strategies (Baker *et al.* 2003; Rojas *et al.* 2012). This family stands out for having a wide distribution throughout the Neotropical Region, and morphological diversification associated with heterogeneity in resource use among species (Freeman 2000, Stevens 2022b).

For fruit bats, the TN partition is strongly influenced by three main factors: 1, by the local diversity of plants (Fleming 1993, Lobova 2009); 2, the changes caused by the fragmentation of the environment (Faustino *et al.* 2021, Muñoz-Lazo *et al.* 2018, Stevens 2022b); and 3, by temporal changes in the availability of these resources (Fleming 1993, Stevens 2022b). The last two factors are probably the most influential in the diet of bats, where plant species that fruiting for long periods of time, or that one fruiting more than once a year, mainly in anthropogenically modified landscapes, are the most consumed (Heithaus *et al.* 1975, Jacomassa & Pizo 2010, Laurindo *et al.* 2017, Passos & Graciolli 2004, Stevens & Amarilla-Stevens 2021, Stevens 2022b).

Recently, a greater number of researches on TN of neotropical chiropterans have been carried out for the Atlantic Forest (Faustino *et al.* 2021, Gnochí *et al.* 2019, Sánchez & Giannini 2018, Stevens & Amarilla-Stevens 2021, Stevens 2022a), and to a lesser extent for other Biomes, such as the Cerrado. This in turn covers about 24% of the Brazilian territory (Ribeiro & Walter 2008) and more than 57% of the state of Minas Gerais (Machado *et al.* 2004), for the latter this biome is correlated with a type of relief characterized by the occurrence of carbonate rocks, which delimit a particular type of geomorphological formation, karst (Melo *et al.* 2013, Pilo 2000), which provides the formation of typical landscapes such as outcrops, sinkholes, caves, lapiás, walls and crevices (Pilo 2000), which in turn show the presence of vegetation cover characteristic of the karst landscape, composed of a phytophysiognomic mosaic with a predominance of semideciduous seasonal forest, at the base and between the limestone outcrops, and the deciduous seasonal forest, covering the dry forest on the outcrops (Melo *et al.* 2013).

That said, we carried out a study to know the eating habits of fruit bats of the Phyllostomidae family, in a karst region located in the midwest portion of Minas Gerais/Brazil, seeking to identify which items are present in their diet, and verifying if the

coexistence of congeneric species pairs of bats is facilitated by trophic niche differentiation based on seasonal variation. It is expected that with seasonal change, resource abundance will interfere with diet diversity, with higher amplitude and overlap values during drier periods.

2 – METHODS

2.1 – Study area

The study was carried out in the karst province of Alto São Francisco, also called karst of Arcos, Pains, and Doresópolis (Figure 01) (Menegasse *et al.* 2002). The region is located in the Cerrado domain, coinciding with the inland limits of the Atlantic Forest. The local vegetation lies highly uncharacterized as most of the native vegetation was converted into pastures, crops and other cultures (e.g. corn, eucalyptus and coffee) (Oliveira *et al.* 2012, Sano *et al.* 2010). The climate of the region, according to the Koppen classification system, is of the Cwa type, that is, a subtropical climate with dry and mild winters and humid and hot summers (Alvares *et al.* 2013). The average annual temperature is around 20°C, with a minimum average of 12°C in the coldest month, and an average maximum of 30°C in the hottest month. The average annual rainfall is approximately 1,500 mm (Nimer 1989).

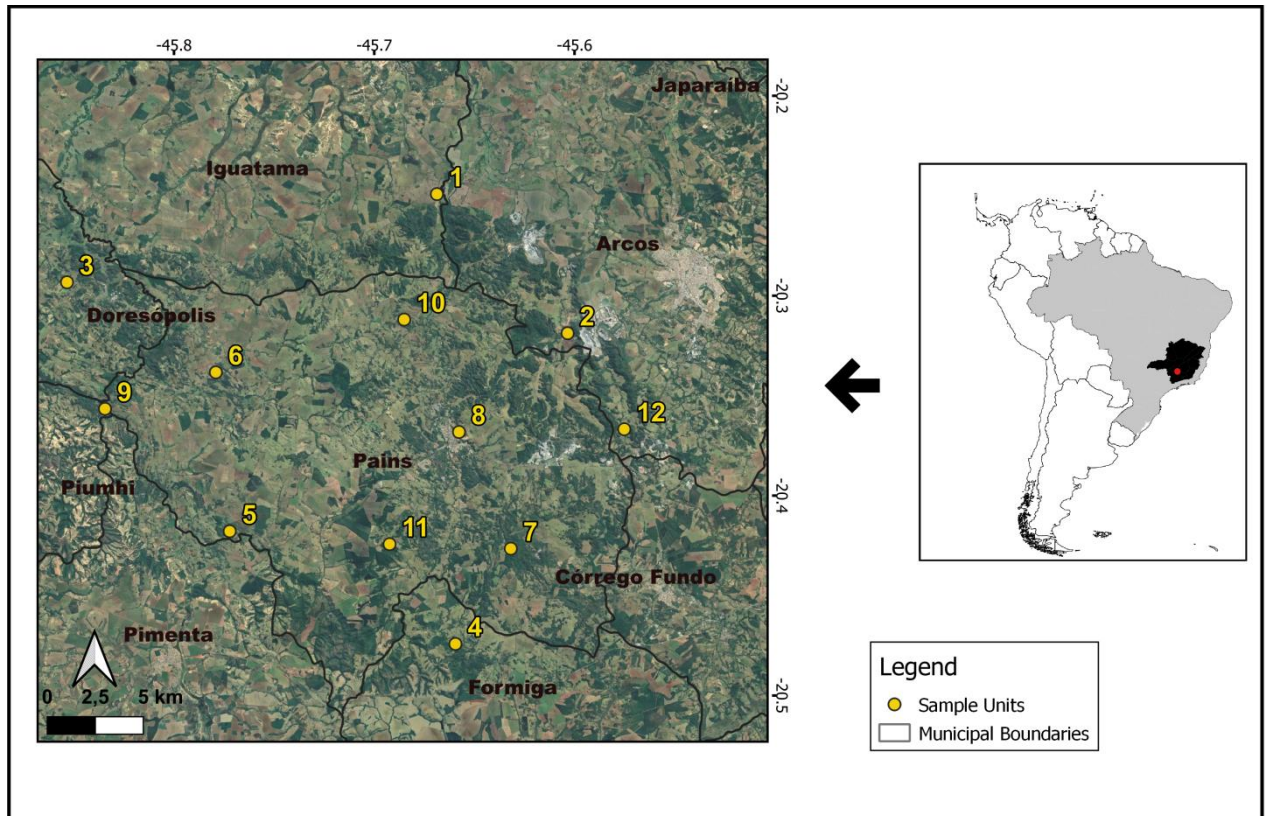


Figure 1: Map of sample collection points in the Midwest region of the state of Minas Gerais, Brazil.

2.2 - Sampling of chiropterofauna and use of food resource

Six field expeditions were conducted for one year in February, March, April, May, August, October, and November 2020, and February and April 2021, covering dry and rainy seasons, including 12 sampling sites (outcrops with the presence of caves as the centroid). Each sampling site is at least five kilometers far from each other. At each site, one 12 x 2.5m mist-net was arranged in the cave entrance blocking it completely or most of it. Five 12 x 2.5m mist-nets were arranged at the border of outcrops near the cave entrance. The nets were open for six hours from sunset totaling 1,080 m²h for each site and a total of 19,960 m²h for the areas as a whole. Bats identification was based on Díaz *et al.* (2016). All handling procedures followed the recommendation of Sikes *et al.* (2016).

The fecal samples collected during the handling of the animals in the net, and in the cloth bags, were placed in plastic microtubules containing 70% alcohol, labeled, and then

taken to the laboratory for analysis under a stereomicroscope. The material was separated into categories (seeds, insect fragments, and pulp), and the seeds were counted and identified to the lowest possible taxonomic level consulting the available bibliography (Bredt *et al.* 2012, Kuhlmann 2018, Lima *et al.* 2016, Lobova, 2009, Lorenzi 1992, 1998, 2009). The botanical nomenclature followed the Missouri Botanical Garden on the “Trópicos” website (www.tropicos.org). Insect and pulp fragments were quantified when they were found in the samples (Mello *et al.* 2004).

2.3 – Data analysis

The analyzes were carried out only with bat species with 10 or more samples. We initially analyzed differences in food consumption by bats between the rainy and dry seasons using PERMANOVA, a Bray-Curtis multivariate permutation analysis of variance with 9,999 random permutations (Anderson *et al.* 2006), followed by a PERMIDISP, to test whether the variation between seasons around its centroid was significantly different from each other (Anderson *et al.* 2006). The following statistical analyzes were performed only with bat species with abundant and common samples.

To calculate the niche overlap among bat species Pianka index (Pianka 1973) was used, which ranges from 0 (no overlap) to 1 (total overlap). The observed overlap values were statistically compared to reference values of null models, where 5,000 simulations of the frequencies of food categories were performed for the Pianka index (Gotelli *et al.* 2015). Through simulations of overlap in the use of food resources, it is possible to identify whether there is a greater similarity between the species of the community exploiting the resource (greater overlap observed than expected by chance), or segregation in the use of this resource (greater than the expected at random) (Gotelli *et al.* 2015). For these simulations, the randomization algorithm number 3 (RA3) was used to exchange niche utilization values

between each row of the matrix (Gotelli & Entsminger 2009). This algorithm was pointed out by Winemiller and Pianka (1990) as the one that presents ideal statistical properties to detect overlapping patterns of non-random niches (Gotelli & Entsminger 2009).

To evaluate the species niche, we performed an analysis of niche marginality (Outlying Mean Index - OMI), which is an ordination technique designed to explicitly take into account the niche of each species within a community and determining its marginality (Baldrich *et al.* 2021, Dolédec *et al.* 2000). The marginality (OMI parameter) of a species corresponds to its niche position held in an n-dimensional space, where the OMI parameter is defined as the squared Euclidean distance between the average conditions used by a species and the average conditions of the sampled parameters (Baldrich *et al.* 2021, Dolédec *et al.* 2000, Karasiewicz *et al.* 2017). We made a table with bat abundance captured in the sample units, and a matrix containing the variables of food resource consumed by bat species.

The OMI analysis provides information on the niche breadth of the species with the tolerance parameter (Tol). High and low tolerance values are associated with taxa that occur in broad ranges (generalists) and limited ranges (specialists) of the conditions (Baldrich *et al.* 2021). The statistical significance of the OMI analysis was tested using Monte Carlo permutations (10,000 permutations), which compare the marginality of observed species with the values from the null hypothesis, assuming species with different habit (Baldrich *et al.* 2021, Dolédec *et al.* 2000).

In the next step we performed a niche decomposition analysis into sub-niches (within outlying mean indexes - WitOMI). The decomposition helps to unfold niche dynamics, highlighting the influence of habitat conditions, such as seasonality on the species at a given time and/or space (Karasiewicz *et al.* 2017). The WitOMI indices use the space created by the OMI analysis and integrate new features that allow the division of niches into subniches, linked to temporal subsets. It promotes the comprehension of how community responds to

changing environmental conditions at the individual scales (Karasiewicz *et al.* 2017, Saccò *et al.* 2020).

For the niche overlap analysis and overlap simulations “EcoSimR” package was used (Gotelli *et al.* 2015). For OMI and WitOMI analyses “ade4” (Dray & Dufour 2007) and “subniche” packages (Karasiewicz *et al.* 2017) were used, respectively. For the PERMANOVA and PERMIDIST analyses “pairwiseAdonis” (Martinez 2020) and “vegan” (Oksanen 2020) packages were used. All analyses were performed using the R program (R Development Core Team 2021).

3 - RESULTS

3.1 – Food Resource

A total of 499 fecal samples were collected from 15 species of phyllostomid bats, where *C. perspicillata* (N = 197) presented seeds belonging to five plant families, *A. planirostris* (N = 146) preferentially consumed fruits of plants from the Moraceae and Myrtaceae families, *G. soricina* (N = 35) higher consumption of Piperaceae, *S. lilium* (N = 31) with the Cucurbitaceae family, and *P. lineatus* (N = 29) showed a predominance of seeds from the Moraceae. Other species of bats had a low number of samples.

The bats had a diet specialized in certain plant families and of the total samples analyzed, 263 (52.7%) contained seeds, 216 (43.2%) contained pulp remains, and 20 (4.1%) had insect fragments. The seeds found in the feces are distributed in nine families of plants, being Moraceae (31.5%) the most frequent, followed by Piperaceae (28.5%), Solanaceae (11.4%), and Urticaceae (4.5%) (TABLE 1). Dry and rainy seasons did not show difference ($R^2 = 0,019$; $F = 0,5553$; $p = 0,59$), and homogeneity of dispersions found difference (Rain = 7,786; Dry = 9,527), but not significant ($F = 0,1202$; $p = 0,73$).

	<i>Solanum sp. 02</i>	1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Urticaceae	<i>Cecropia glaziovii</i>	0	0	1	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	<i>Cecropia pachystachya</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		
	Non-identified pulp	0	4	33	52	1	0	0	1	4	13	0	0	0	0	5	5	0	0	20	37	3	0	1	1	5	10	10	10	0	1
	Insects	0	0	1	4	1	0	0	0	2	2	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	Total	4	6	96	101	3	1	0	1	18	17	0	4	3	3	12	6	1	1	86	60	4	0	3	7	13	16	17	14	0	2

3.2 – Trofic Niche Analysis

The niche overlap values were higher between *P. lineatus* x *A. planirostris* ($\text{Øjk} = 0.96$), *A. fimbriatus* x *S. lilium* ($\text{Øjk} = 0.94$), and *A. fimbriatus* x *P. lineatus* ($\text{Øjk} = 0.92$). The smallest overlap found was between *C. villosum* x *C. brevicauda* ($\text{Øjk} = 0.23$) (see TABLE 01 of the supplementary material). When analyzed in different seasons, the overlap values in the dry season are high about the rainy season (TABLE 2). The community presented an overlap of 0.7264, which is greater than expected by chance ($\text{Pobs} > \text{Pesp} = 0.16207$), revealing an overlap in the diet between the species in the area. Divided by season, the dry season showed greater overlap 0.76493 ($\text{Pobs} > \text{Pesp} = 0.10213$), than rainy season of 0.51608 ($\text{Pobs} > \text{Pesp} = 0.21341$) (for more information see supplementary material).

Table 2: Niche overlap values divided by season, red numbers represent the wet season and black numbers the dry season. Ap = *A. planirostris*, Af = *A. fimbriatus*, Cb = *C. brevicauda*, Cp = *C. perspicillata*, Cv = *C. villosum*, Gs = *G. soricina*, Pl = *P. lineatus*, Sl = *S. lilium*.

	Af	Ap	Cb	Cp	Cv	Gs	Pl	Sl
Af		0.96	0.87	0.93	0.37	0.97	0.97	0.95
Ap	0.67		0.86	0.91	0.28	0.95	0.98	0.94
Cb	0.16	0.19		0.90	0.17	0.87	0.85	0.91
Cp	0.71	0.56	0.50		0.21	0.94	0.91	0.95
Cv	0.57	0.65	0	0.45		0.26	0.36	0.18
Gs	0.45	0.43	0.20	0.55	0.47		0.96	0.95
Pl	0.82	0.87	0	0.62	0.66	0.46		0.92
Sl	0.90	0.65	0.26	0.78	0.51	0.49	0.74	

The first two axes of the OMI were responsible for 73.23% of the explained variability (OMI1: 51.39% and OMI2: 21,85%). The mean marginality of the species was significant ($P < 0.005$), suggesting an influence of the food resource (TABLE 3). Most taxa had low OMI values indicating common use of resources ($\text{OMI} < 2$). *Artibeus planirostris* ($p = 0.05$), *C.*

villosum ($p < 0.01$), and *P. lineatus* ($p = 0.05$) presented a well-marked niche for the dry season. *Carollia brevicauda* had the highest marginality value (OMI = 6.80) followed by *C. villosum* (OMI=6.10), and *C. perspicillata* and *A. planirostris* with the lowest values (OMI = 0.07 and 0.16 respectively). The high/low values of marginality indicate that the species are uncommon/common, respectively (Dolédec *et al.* 2000). We found higher values of niche breadth (tolerance parameter) for the dry season, these results indicate a niche expansion for this season (Figure 2), *Glossophaga soricina* and *C. perspicillata* had the highest tolerance values (Tol = 2.81 and 2.13), and *P. lineatus* and *A. planirostris* were the lowest (Tol = 1.43 and 1.45).

The marginality values of the stations presented *C. perspicillata* with the lowest value and *C. brevicauda* with the highest for the dry period, for the rainy period *A. planirostris* lower and *C. villosum* higher. Regarding the tolerance values, the highest was for *S. lilium* in the dry season and *C. villosum* in the rainy season, and the lowest for the drought with *C. brevicauda* and rainy with *A. planirostris*. We also found higher values of the tolerance parameter for the dry season, indicating that the niche breadth is greater for this season (TABLE 3). On subniches (WitOMI) we found significant values only for the dry season with *A. fimbriatus* ($p < 0.05$), *C. brevicauda* ($p < 0.05$), *C. villosum* ($p < 0.05$), and *P. lineatus* ($p < 0.05$). Regarding the most influential resources in the realized niches of the bats, *Maclura tinctoria* ($p < 0.05$) for the dry period and *Gurania lobata* ($p < 0.05$), *Maclura tinctoria* ($p < 0.05$) and *Psidium ssp.* ($p < 0.05$) for the rainy season has contributed more (see supplementary material).

Table 3: Result of OMI and WitOMI analyses. OMI = Outlying Mean Index; WitOMIG, marginalities from the average resources condition G, Tol = tolerance; Rtol = residual tolerance and Average marginality.

Species	OMI				WitOMI Dry				WitOMI Rain			
	OMI	Tol	Rtol	p	WitOMIG	Tol	Rtol	p	WitOMIG	Tol	Rtol	p
<i>A. fimbriatus</i>	3.20	1.67	25.5	0.05	8.03	1.80	17.0	0.05	3.73	2.17	21.1	0.39
<i>A. planirostris</i>	0.16	1.45	20.2	0.79	0.42	3.62	12.4	0.47	0.13	0.60	22.1	0.68
<i>C. brevicauda</i>	6.82	1.90	14.9	0.08	24.8	0	0	0.04	6.54	2.76	12.2	0.62
<i>C. perspicilatta</i>	0.07	2.13	18.6	0.80	0.19	3.04	12.3	0.64	0.14	2.62	20.0	0.64
<i>C. villosum</i>	6.18	1.84	20.5	0.01	18.8	5.61	10.3	0.04	6.71	2.89	11.8	0.50
<i>G. soricina</i>	0.34	2.81	19.6	0.52	0.79	2.10	13.1	0.22	0.25	2.65	21.3	0.58
<i>P. lineatus</i>	1.76	1.43	24.0	0.05	4.32	6.61	11.0	0.04	2.87	0.72	24.2	0.52
<i>S. lilium</i>	1.51	1.63	16.2	0.17	3.67	6.78	10.6	0.14	3.05	1.52	12.8	0.80
Average marginality	2.50			0.003				0.03				0.78

*bold values are statistically significant.

** Rtol = Residual tolerance represents the variance in the species niche that is not taken into account by the marginality axis.

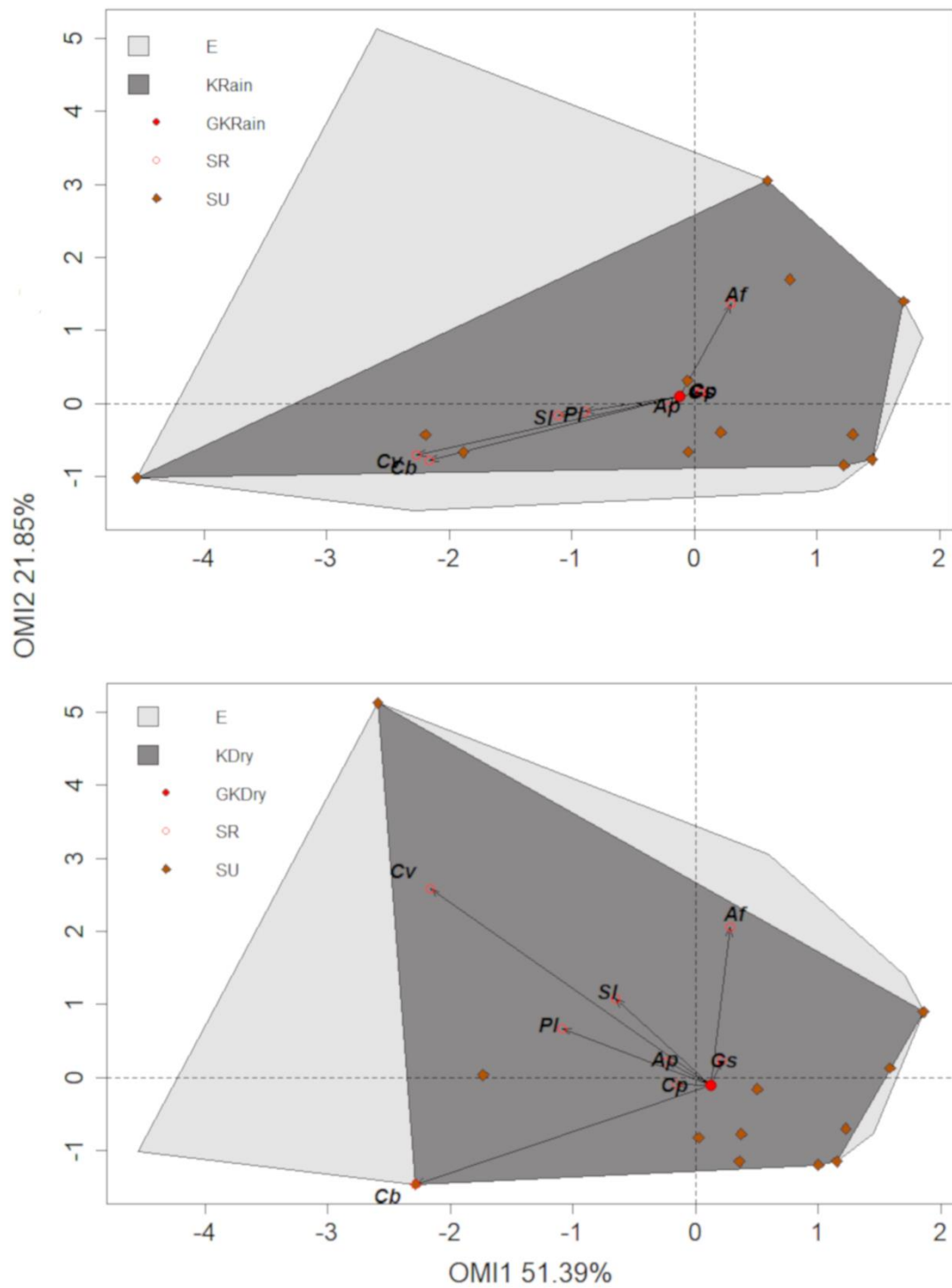


Figure 2: Distribution of bat species within the niche space realized, dry and rainy periods respectively. For the rainy season, we have the overlap between *C. perspicillata* and *G. soricina*. Arrows represent the marginality of average resource conditions. E = realized niche space, K = sub-niche, GK = average condition in each sub-niche, SR = realized sub-niche of each species, and SU = Sample Units. For more details on the niche indices see Karasiewicz *et al.* (2017).

4 - DISCUSSION

4.1 - Food resource

Our results are consistent with those found in the literature, with the genera *Artibeus*, *Carollia*, *Glossophaga*, and *Sturnira* being more frequent in highly fragmented and anthropic regions, and interacting with plants of the Piperaceae, Moraceae, Myrtaceae, Solanaceae, and Urticaceae (Fleming 1993, Lobo *et al.* 2009, Marinho-Filho 1991, Mello *et al.* 2004, Mikich 2002, Parolin *et al.* 2016, Pellón *et al.* 2021, Stevens 2022b). The fruits of these plants have characteristics that influence selection and consumption, such as accessibility, fruit position outside the foliage, and long stems, which protect the fruit from attacks by flightless animals (Fleming 1993, Muller & Reis 1992). Samples containing only pulp may represent fruits with large seeds, and not ingested, or fruits where the bat ingests the pulp and spits out the seed, or even destroys the seeds (Nogueira & Peracchi 2002).

Although overlap in diet composition was observed among bat species in the dry season, differences in the proportions of items consumed between species reveal a resource-sharing mechanism that allows species co-occurrence (Brito *et al.* 2010). This sharing reflects in the variation of the fruit diet according to the supply of resources in the environment (Passos *et al.* 2003), but also complemented with insect consumption, for example (Aguilar & Marinho-Filho 2007, Gnocchi *et al.* 2019, Mello *et al.* 2004). And the consumption of arthropods may be related to its high concentration of proteins (Orr *et al.* 2016).

Carollia perspicillata was more abundant during the study period, contrary to what was observed in several studies on bat feeding ecology (Faustino *et al.* 2021, Passos *et al.* 2003, Pinto & Ortêncio Filho 2006, Silveira *et al.* 2011). This dominance can be explained by the fact that this species feeds on the fruits of plants, which occur in open areas such as forest edges (Reis *et al.* 2011), the ability to use various strata of vegetation, and different types of

shelter (Faustino *et al.* 2021, Silveira *et al.* 2011, Silveira *et al.* 2020), in addition to greater efficiency in adapting to fragmentation processes in disturbed areas (Muller & Reis 1992), like the study area. *Glossophaga soricina* had a higher consumption of Piperaceae, as reported in other studies (Martins *et al.* 2014, Munin *et al.* 2012), in addition to the presence of insect fragments in their diet, also already reported in the literature (Gnocchi *et al.* 2019). *Sturnira lilium* is specialized in the consumption of *Solanum* (Jacomassa *et al.* 2021, Mello *et al.* 2008), but for the area, the largest number of samples was from the Cucurbitaceae family.

Our results on the number of samples per season did not show significant differences, and this is probably related to the lack of seasonality of consumed fruits (Fleming 1986), which led to similar amounts for both seasons, especially due the two most abundant species, *C. perspicillata* and *A. planirostris*.

4.2 – Trofic Niche interactions

Our results indicate that there is greater niche overlap in drier seasons, and this coexistence probably is related to the resource partition (Faustino *et al.* 2021, Munin *et al.* 2012). That is, when resources are limited, niche differentiation plays a key role in species coexistence (Hardin 1960, Johnson & Bronstein 2019), i.e., by minimizing niche width, mechanisms such as niche partitioning and complementarity facilitate the coexistence among sympatric species with similar habitat preferences (MacArthur 1958, Pianka 1976, Shipley & Twining 2020), or even occasional specialization in a smaller set of preferred resources (Bolnick *et al.* 2010, Faustino *et al.* 2021).

This punctual specialization in seasonal times is important for the species because, in the face of more intense competition, bats restrict the use of a shared resource. This may give them an advantage in exploiting these resources over other generalist species (Carvalho & Cardoso 2020, Muñoz-Lazo *et al.* 2019). Stevens (2022b), in his study for the Atlantic Forest,

warns that food seasonality together with habitat modification is the main driver of reduced specialization and increased overlap of bat diets. We also expected higher values of niche breadth during the dry season, and our results show a niche expansion (see figure 2), and this is in line with the optimal foraging theory, where individuals should specialize when resources are plentiful, but when faced with scarcity they tend to increase the number of items included in the diet (Munoz-Lazo *et al.* 2018; Stephens & Krebs, 1986).

We also observed *C. perspicillata* and *A. planirostris* with the highest values of niche breadth, indicating that their diet is not concentrated only on a few resources and that they coexist in great abundance (Faustino *et al.* 2021). For *A. planirostris* we found low tolerance values (Tol) in the rainy season and high in the dry season, which may indicate that this species expands its niche when there is an ecological opportunity (high resource availability) (Carvalho & Cardoso 2020). However, the low marginality values (WitOMI) show that it remains specialized in some number of items, which for our study may be its affinity with plants of the family Moraceae (Laurindo *et al.* 2019) or a bias created by the number of samples containing only pulp (39% of samples).

For *C. perspicillata*, even confirming its preference for plants of the genus *Piper* (Pellón *et al.* 2015), the low values of marginality, and the number of insect samples in their feces, show a wide food spectrum with a characteristic close to omnivory (Gnocchi *et al.* 2019). *Platyrrhinus lineatus* and *S. lilium* had the highest tolerance values in the dry season, thus being considered generalists, while in the rainy season they presented low values, thus adopting a punctual specialist profile, as indicated by Faustino *et al.* (2021), a restricted diet does not always indicate specialization, and the species can be induced to consume a certain temporarily abundant food source.

The analysis showed greater overlap in bat activities than randomly (Arriaga-Flores *et al.* 2012, Mancina & Castro-Arellano 2013, Sánchez *et al.* 2012, Stevens & Amarilla-Stevens

2021, Stevens 2022b). Although null models can be used to aid understand whether the observed niche overlap is more or less than expected by chance, it is still difficult to infer what mechanisms are acting to create these patterns (Geange *et al.* 2011). It is also important to highlight that niche decomposition (OMI and WitOMI) proved to be an interesting tool to study bat trophic niches, showing details in the diets of the analyzed species (Karasiewicz *et al.* 2017).

Finally, we can say that the observed results reinforce that the mechanisms that promote the high local diversity of fruit bats are probably the result of diet specialization during high fruit abundance (Fleming 1993, Rex *et al.* 2010, Shipley & Twining 2020), leading to narrow niche breadth (Carlson *et al.* 2021). And the adoption of more general strategies in times of low food availability, thus having wider niches (Carlson *et al.* 2021, Sargente 2007, Shipley & Twining 2020). In addition, the composition of the diet (most of the pioneer plants consumed) shows the degree of disturbance in the region and refers to the need for strategies that aim to minimize anthropic actions.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Gabriela Passos Vicente, Naiara Carvalho de Lima, Lucas Del Sarto, and Paulo Reis Venâncio for their assistance in data collection and field assistance. We would like to thank the farmers and directors of the mining companies for permission to do fieldwork and Moacir and Rosana for their support with accommodations and facilities. We would also like to acknowledge the Universidade Federal de Lavras (UFLA).

FINANCIAL SUPPORT

This study was funded by Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG process CRA – RDP – 00079-18), and the financial support through the Programa

Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) of Universidade Federal de Lavras (UFLA) for LLO.

CONFLICT OF INTERESTS

None

ETHICAL STANDARDS

This study was authorized by the Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), license 74010-1, and Animal Bioethical Council of Universidade Federal de Lavras UFLA, protocol 002/2020.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar LMS and Marinho-Filho J (2007) Bat frugivory in a remnant of southeastern Brazilian Atlantic forest. *Acta Chiropterologica* **9**, 251- 260.

Aguirre LF, Herrel A, van Damme R and Matthysen E (2002) Ecomorphological analysis of trophic niche partitioning in a tropical savannah bat community. *Proceedings of the Royal Society of London B*. **269**, 1271–1278.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Moraes G, Leonardo J and Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **22**, 711-728.

Alvarez J, Willing MR, Knox J and Webster Jr ED (1991) *Glossophaga soricina*. *Mammalian species*, **379**: 1-7.

Anderson MJ, Ellingsen KE and Mcardle BH (2006) Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters* **9**, 683–693.

Andrade TY, Wibke T, Rogeri PK, Kalko EKV and Mello MAR (2013) Hierarchical fruit selection by Neotropical leaf-nosed bats (Chiroptera: Phyllostomidae). *Journal of Mammalogy* **94**: 1091–1101.

Arriaga-Flores JC, Castro-Arellano I, Moreno-Valdez A and Correa-Sandoval A (2012) Temporal niche overlap of a riparian forest bat ensemble in subtropical Mexico. *Revista Mexicana de Mastozoología nueva época* **2**, 6–20.

Baker RJ, Hooper SR, Porter CA. and Van Den Bussche RA (2003). Diversification among New World leaf-nosed bats: an evolutionary hypothesis and classification inferred

from digenomic congruence of DNA sequence. *Occasional Papers Museum Texas Tech University* **230**: 1–32.

Baldrich ÁM, Pérez-Santos I, Álvarez G, Reguera B, Fernández-Pena C, Rodríguez-Villegas C, Araya M, Álvarez F, Barrera F, Karasiewicz S and Díaz PA (2021) Niche differentiation of *Dinophysis acuta* and *D. acuminata* in a stratified fjord. *Harmful Algae* **103**, 102010.

Bolnick DI, Ingram T, Stutz WE, Snowberg L K, Lau OL and Paull JS (2010) Ecological release from interspecific competition leads to decoupled changes in population and individual niche width. *Proceedings of the Royal Society B*. **277**, 1789–1797. DOI: 10.1098/rspb.2010.0018

Bredt A, Uieda W and Pedro W A (2012) *Plantas e morcegos na recuperação de áreas degradadas e na paisagem urbana*. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 275 p.

Brito JEC, Gazarani J and Zawadzki CH (2010) Abundância e frugivoria da quiropterofauna (Mammalia, Chiroptera) de um fragmento no Noroeste do Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum – Biological Sciences* **32**, 265-271.

Brusco AR and Tozato HC (2009) Frugivoria na dieta de *Artibeus lituratus* Olfers, 1818 (Chiroptera, Phyllostomidae) no Parque do Ingá, Maringá/PR. *Revista F@pciência* **3**, 19-29

Carlson BS, Rotics S, Nathan R, Wikelski M and Jetz W (2021) Individual environmental niches in mobile organisms. *Nature Communications* **12**, 4572. DOI: 10.1038/s41467-021-24826-x

Carvalho JC and Cardoso P (2020) Decomposing the causes for niche differentiation between species using hypervolumes. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **8**, 243. DOI:10.3389/fevo.2020.00243

Castaño JH, Carranza JA and Pérez-Torres J (2018) Diet and trophic structure in assemblages of montane frugivorous phyllostomid bats. *Acta Oecologica* **91**, 81–90. DOI: 10.1016/j.actao.2018.06.005

Chase JM, Abrams PA, Grover JP, Diehl S, Chesson P, Holt R D, Richards SA, Nisbet RM and Case TJ (2002) The interaction between predation and competition: a review and synthesis. *Ecology Letters* **52**, 302–315.

Clare EL, Fraser EE, Braid HE, Brock Fenton M, and Hebert PDN (2009) Species on the menu of a generalist predator, the eastern red bat (*Lasiurus borealis*): Using a molecular approach to detect arthropod prey. *Molecular Ecology* **18**, 2532–2542.

Díaz MM, Solari S, Aguirre LF, Aguiar LMS and Barquez RM (2016) *Clave de identificación de los murciélagos de Sudamérica*. Publicación Especial n°2, PCMA (Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina). 160 pp.

Dolédéc S, Chessel D and Gimaret-Carpentier C (2000) Niche separation in community analysis: a new method. *Ecology* **81**, 2914 DOI: 10.2307/177351.

Dray S and Dufour AB (2007) The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* **22**, 1–20 DOI: 10.18637/jss.v022.i04.

Fabián ME, Rui AM and Waechter JL (2008) *Plantas utilizadas como alimento por morcegos (Chiroptera, Phyllostomidae) no Brasil*. In: Reis NR, Peracchi AL and Santos GASD (ed), *Ecologia de Morcegos*. Technical Books Editora: Londrina, pp. 51-70.

Faustino CL, Dias RM, Ferreira SR and Ortêncio Filho H (2021) Frugivorous bat (Chiroptera: Phyllostomidae) community structure and trophic relations in Atlantic Forest fragments. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* **43**, e52030. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v43i1.52030

Fleming TH (1991) The relationship between body size, diet habitat use in frugivorous bats, genus *Carollia* (Phyllostomidae). *Journal of Mammalogy* **72**, 493-501.

Fleming TH (1993) Plant-visiting bats. *American Scientist* **81**, 460–467.

Fleming TH (1986) Opportunism versus specialization: the evolution of feeding strategies in frugivorous bats, p. 105-118. In: A. Estrada & T.H. Fleming (eds) *Frugivores and seed dispersal*. Dordrecht, W. Junk Publishers, 398p.

Freeman PW (2000) Macroevolution in Microchiroptera: recoupling morphology and ecology with phylogeny. *Mammalogy Papers*: University of Nebraska State Museum: 8.

Fugi R, Luz-Agostinho KDG and Agostinho AA (2008) Trophic interaction between an introduced (peacock bass) and a native (dogfish) piscivorous fish in a Neotropical impounded river. *Hydrobiologia* **607**, 143-150.

García-Estrada C, Damon A, Sánchez-Hernández C, Soto-Pinto L and Ibarra-Núñez G (2012) Diets of frugivorous bats in montane rain forest and coffee plantations in southeastern Chiapas, Mexico. *Biotropica* **44**, 394–401.

Geange SW, Pledger S, Burns KC and Shima JS (2011) A unified analysis of niche overlap incorporating data of different types. *Methods in Ecology and Evolution* **2**, 175-184. DOI: 10.1111/j.2041210X.2010.00070.x

Gnocchi AP, Huber S and Srbek-Araujo AC (2019) Diet in a bat assemblage in Atlantic Forest in southeastern Brazil. *Tropical Ecology* **60**, 389–404.

Gotelli NJ and Entsminger GL (2009) EcoSim: Null models software for ecology. Version 7.72. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear. Jericho, VT 05465.

Gotelli NJ, Hart EM and Ellison AM (2015) *EcoSimR: Null model analysis for ecological data*. R package version 0.1.0. disponível em: <http://github.com/gotellilab/EcoSimR> doi:10.5281/zenodo.16522

Hardin GJ (1960) The competitive exclusion principle. *Science* **131**, 3409, 1292-7.

Heithaus ER, Fleming TH and Opler PA (1975) Foraging patterns and resource utilization in seven species of bats in seasonal tropical forest. *Ecology* **56**, 841–854.

Hurlbert SH (1978) The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology* **59**, 67-77.

Hutchinson G (1957) Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* **22**, 415–427. DOI : 10.1101/sqb.1957.022.01.039.

Karasiewicz S, Dolédec S and Lefebvre S (2017) Within outlying mean indexes: Refining the OMI analysis for the realized niche decomposition. *PeerJ* **5**, e3364

Kuhlmann M (2012) *Frutos E Sementes Do Cerrado Atrativos Para a Fauna: Guia de Campo*. Col. Christopher W. Fagg. Rede de Sementes do Cerrado, Brasília

Kunz TH and Parsons S (1988) *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press.

Laurindo RS, Gregorin R and Tavares DC (2017) Effects of biotic and abiotic factors on the temporal dynamic of bat- fruit interactions. *Acta Oecologica* **83**, 38-47.

Laurindo R and Vizentin-Bugoni J (2020). Diversity of fruits in *Artibeus lituratus* diet in urban and natural habitats in Brazil: A review. *Journal of Tropical Ecology*, **36**, 65-71. doi:[10.1017/S0266467419000373](https://doi.org/10.1017/S0266467419000373)

Lima IP, Nogueira MR, Monteiro LR and Peracchi AL (2016) Frugivoria e dispersão de sementes por morcegos na Reserva Natural Vale, sudeste do Brasil. Pp. 433-452 in ROLIM, S.G., MENEZES, L.F.T.; SRBEK-ARAÚJO, A.C. (eds.). *Floresta Atlântica de Tabuleiro: diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale*. Editora Rupestre, Espírito Santo

Lobova TA, Geiselman CK and Mori SA (2009). *Seed dispersal by bats in the Neotropics*. The New York Botanical Garden: New York. 471 p.

Lopez JE and Vaughan C (2007) Food niche overlap among neotropical frugivorous bats in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* **55**, 301-313.

Lorenzi H (1992) *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Editora Plantarum, Nova Odessa. 368 pp.

Lorenzi H (1998) *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Vol. 2. Editora Plantarum, Nova Odessa. 384 pp.

Lorenzi H (2009) *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Vol. 3. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa. 385 pp.

Jacomassa FAF, Bernardi IP and Passos FC (2021). Seasonal diet variation, preferences and availability of resources consumed by *Sturnira lilium* (É. Geoffroy St.-Hilaire, 1810) (Chiroptera: Phyllostomidae) in Brazilian seasonal deciduous forest. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* [online], **93**. Doi.org/10.1590/0001-3765202120201571

Jacomassa FAF and PIZO MA (2010). Birds and bats diverge in the qualitative and quantitative components of seed dispersal of a pioneer tree. *Acta Oecologica* **36**, 493-496. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2010.07.001>

Johnson CA and Bronstein JL (2019). Coexistence and competitive exclusion in mutualism. *Ecology* **100**, e02708.

Macarthur RH (1958). Population ecology of some warblers of northeastern coniferous forests. *Ecology* **39**, 599–619.

Machado RB, Ramos Neto MB, Pereira PGP, Caldas E, Gonçalves DA, Santos NS, Tabor K and Steininger M (2004) *Estimativas de perda de área do Cerrado brasileiro*. Conservação Internacional, Brasília. 25 pp.

Marinho-Filho JS (1991) The coexistence of two frugivorous bat species and the phenology of their food plants in Brazil. *Journal of Tropical Ecology* **7**, 59-67.

Martins MPV, Torres JT and Anjos EAC (2014). Dieta de morcegos filostomídeos (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae) em fragmento urbano do Instituto São Vicente, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. *Papéis Avulsos de Zoologia* **54**, 299-305.

Martinez Arbizu P (2020). pairwiseAdonis: Pairwise multilevel comparison using adonis. R package version 0.4. Disponível em <https://github.com/pmartinezarbizu/pairwiseAdonis>

Mancina CA and Castro-Arellano I (2013). Unusual Temporal Niche Overlap in a Phytophagous Bat Ensemble of Western Cuba. *Journal of Tropical Ecology* **29**, 511– 521.

Melo PHA, Lombardi JA, Alexandre Salino A and Carvalho DA (2013) Composição florística de angiospermas no carste do Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* **64**, 29-36.

Mello MAR, Schittini G, Selig P, Bergallo HG (2004). Seasonal variation in the diet of the bat *Carollia perspicillata* (Chiroptera: Phyllostomidae) in an Atlantic Forest area in southeastern Brazil. *Mammalia* **68** 49-55.

Mello MAR, Kalko EKV and Silva WR (2008). Diet and abundance of the bat *Sturnira lilium* (Chiroptera: Phyllostomidae) in a Brazilian Montane Atlantic Forest. *Journal of Mammalogy* **89**, 485-492.

Menegasse LN, Gonçalves JM and Fantinel LM (2002). Disponibilidades hídricas na Província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas* **16**, 1-19.

Mikich SB (2002). A dieta dos morcegos frugívoros (Mammalia, Chiroptera, Phyllostomidae) de um pequeno remanescente de Floresta Estacional Semidecidual do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* **19**, 239 - 249.

Munin RL, Fischer E and Gonçalves F (2012). Food habits and dietary overlap in a Phyllostomid Bat Assemblage in the Pantanal of Brazil. *Acta Chiropterologica* **14**, 195-204

Muñoz-Lazo FJJ, Franco-Trecu V, Naya DE, Martinelli LA and Cruz-Neto AP (2019) Trophic niche changes associated with habitat fragmentation in a Neotropical bat species. *Biotropica* **51**, 709–718.

Nimer E (1989) *Climatologia do Brasil* . v. 2. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Nogueira MR and Peracchi AL (2002) Fig-seed predation by 2 species of *Chiroderma*: discovery of a new feeding strategy in bats. *Journal of Mammalogy*, **84**, 225-233.

Oliveira EG, Ferreira ME and Araújo FMD (2012). Diagnostic of the land use in the Midwest region of Minas Gerais, Brazil: the renewal of the landscape by the sugarcane crops and its social and environmental impacts. *Sociedade & Natureza* **24**, 545-555.

Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, Mcglinn D, Minchin P. R, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E and Wagner H (2020). Vegan: community ecology package. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Orr TJ, Ortega J, Medellín RA, Sánchez CD and Hammond KA (2016). Diet choice in frugivorous bats: Gourmets or operational pragmatists? *Journal of Mammalogy*, **97**, 1578-1588.

Painter ML, Chambers CL, Siders M, Doucett RRJr, Whitaker JO and Phillips DL (2009). Diet of spotted bats (*Euderma maculatum*) in Arizona as indicated by fecal analysis and stable isotopes. *Canadian Journal of Zoology*, **87**, 865–875.

Parolin LC, Bianconi GV and Mikich SB (2016). Consistency in fruit preferences across the geographical range of the frugivorous bats *Artibeus*, *Carollia* and *Sturnira* (Chiroptera). *Iheringia. Série Zool.* **106**, 1–6.

Passos FC, Silva WR, Pedro WA and Bonin MR (2003). Frugivory in bats (Mammalia, Chiroptera) at the Intervales State Park, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* **20**, 511-517.

Passos FC and Gracioli G (2004). Observações da dieta de *Artibeus lituratus* (Olfers) (Chiroptera, Phyllostomidae) em duas áreas do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* **21**, 487-489.

Pellón JJ, Rivero J, Williams M and Flores M (2021). Trophic relationships within the genus *Carollia* (Chiroptera, Phyllostomidae) in a premontane forest of central Peru. *Journal of Mammalogy*, **102**, 195–203. DOI:10.1093/jmammal/gyaa141

Pearman PB, Guisan A, Broennimann O and Randin CF (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, **23**, 149-58. DOI: 10.1016/j.tree.2007.11.005.

Pianka ER (1976) *Competition and niche theory. Theoretical ecology: Principles and applications*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.

Pianka ER (1973) The Structure of Lizard Communities. *Annul Review in Ecology and Systematics*. **4**, 53-74.

Piló LB (2000) Geomorfologia cárstica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. **1**, 88-102. <https://doi.org/10.20502/rbg.v1i1.73>

Pinto D and Ortêncio Filho H (2006) Dieta de quatro espécies de filostomídeos frugívoros (Chiroptera, Mammalia) do Parque Nacional do Cinturão Verde de Cianorte, Paraná, Brasil. *Chiroptera Neotropical* **12**, 274-279.

R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>.

Reis NR, Peracchi AL, Pedro VA and Lima IP (2007). *Morcegos do Brasil*. Londrina: UEL. 253 p.

Reis NR, Shibatta OA, Peracchi AL, Pedro WA and Lima IP (2011) Sobre os mamíferos do Brasil. In: REIS, N.R.; PERACCHI, A.L., PEDRO, W.A. & LIMA, I.P. (Eds.). *Mamíferos do Brasil*. 2^a ed. Londrina, p.23-29.

Rex K, Czaczkes BI, Michener R, Kunz TH and Voigt CC (2010) Specialization and omnivory in diverse mammalian assemblages. *Ecoscience*, **17**, 37–46.

Ribeiro JF and Walter BMT (2008) As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. *Cerrado: Ecol. Flora* **1**, 151-212

Rojas D, Vale Á, Ferrero V, and Navarro L (2012) The role of frugivory in the diversification of bats in the Neotropics. *Journal of Biogeography*, **39**, 1948-1960. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2012.02709.x>

Ruadreo N, Voigt CC and Bumrungsri S (2019) Large Dietary Niche Overlap of Sympatric Open-space Foraging Bats Revealed by Carbon and Nitrogen Stable Isotopes. *Acta Chiropterologica* **20**, 329-341.

Saccò M, Blyth AJ, Humphreys WF, Karasiewicz S, Meredith KT, Laini A, Cooper SJB, Bateman PW and Grice K (2020) Stygofaunal community trends along varied rainfall conditions: Deciphering ecological niche dynamics of a shallow calcrete in Western Australia. *Ecohydrology* **13**, e2150. DOI: 10.1002/eco.2150

Salinas-Ramos VB, Ancillotto L, Bosso L, Sánchez-Cordero V and Russo D (2020) Interspecific competition in bats: state of knowledge and research challenges. *Mammal Review* **50**, 68-81. DOI: 10.1111/mam.12180

Sánchez MS and Giannini NP (2018) Trophic structure of frugivorous bats in the Neotropics: emergent patterns in evolutionary history. *Mammal Review* **48**, 90–107. DOI: 10.1111/mam.12116

Sano EE, Rosa R, Brito JL and Ferreira LG (2010). Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* **166**, 113-124.

Sargeant BL (2007) Individual foraging specialization: niche width versus niche overlap. *Oikos* **116**, 1431–1437.

Shiple JR and Twining CW (2020) Seasonal dietary niche contraction in coexisting Neotropical frugivorous bats (Stenodermatinae). *Biotropica* **00**,1–9. DOI: 10.1111/btp.12784

Silveira M, Trevelin L, Port-Carvalho M, Godoi S, Mandetta EM and Cruz-Neto AP (2011) Frugivory by phyllostomid bats (Mammalia: Chiroptera) in a restored area in Southeast Brazil. *Acta Oecologica* **37**, 31-36.

Silveira M, Tomas WM, Araújo Martins C and Fischer E (2020) Vegetal resources drive phylogenetic structure of phyllostomid bat assemblages in a Neotropical wetland. *Journal of Mammalogy* **101**, 52–60.

Sikes RS and the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists (2016) Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy* **97**, 663-688.

Soberón J (2007) Grinnellian and Eltonian niches and geographic distribution of species. *Ecology Letters*, **10**, 1115–1123.

Stephens DW and Krebs JR (1986) *Foraging theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Stevens RD (2022a) Reflections of Grinnellian and Eltonian niches on the distribution of phyllostomid bats in the Atlantic Forest. *Journal of Biogeography*, **49**, 94-103. <https://doi.org/10.1111/jbi.14284>

Stevens RD (2022b) Dietary affinities, resource overlap and core structure in Atlantic Forest phyllostomid bat communities. *Mammal Review* **52**, 177-191. <https://doi.org/10.1111/mam.12271>

Stevens RD and Amarilla-Stevens HN (2021) Dietary patterns of phyllostomid bats in interior Atlantic Forest of eastern Paraguay. *Journal of Mammalogy*, **102**, 685–694. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa184>

Trappes R (2021) Defining the niche for niche construction: evolutionary and ecological niches. *Biology and Philosophy* **36**, 1-20.

Tropicos.org (2021) Missouri Botanical Garden. Accessed in 13 Jul 2021 <https://tropicos.org>

Zhang J (2016) spaa: SPecies Association Analysis. R package version 0.2.2. <https://cran.r-project.org/web/packages/spaa/index.html>.

Winemiller KO and Pianka ER. (1990). Organization in Natural Assemblages of Desert Lizards and Tropical Fishes. *Ecol Monogr* **60**, 27-55.

MATERIAL SUPPLEMENTARY

SEASONAL DIETARY NICHE CHANGES IN NEOTROPICAL BATS

*Sebastião Maximiano Corrêa Genelhú¹², Rafael de Souza Laurindo³, Arthur Setsuo Tahara¹²,
Letícia Langsdorff Oliveira¹, Renato Gregorin¹⁴

1 - Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos, Universidade Federal de Lavras (UFLA) Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

2 – Departamento de Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

3 – Instituto Sul Mineiro de Estudos e Conservação da Natureza (ISMECN), Campo Belo (MG), Brasil;

4 - Departamento de Biologia e Centro de Biodiversidade e Genética da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil.

* Corresponding author. Email: sebastiaogenelhum@gmail.com

Table 01: General Niche overlap values. Ap = *Artibeus planirostris*, Af = *Artibeus fimbriatus*, Cb = *Carollia brevicauda*, Cp = *Carollia perspicillata*, Cv = *Chiroderma villosum*, Gs = *Glossophaga soricina*, Pl = *Platyrrhinus lineatus*, Sl = *Sturnira lilium*.

	Af	Ap	Cb	Cp	Cv	Gs	Pl
Ap	0.88						
Cb	0.74	0.68					
Cp	0.86	0.79	0.83				
Cv	0.46	0.52	0.23	0.32			
Gs	0.85	0.80	0.73	0.86	0.36		
Pl	0.92	0.96	0.69	0.82	0.52	0.86	
Sl	0.94	0.84	0.80	0.89	0.29	0.86	0.88

To calculate the niche overlap between bat species, the Pianka index (Pianka 1973) was used, which ranges from 0 (no overlap) to 1 (total overlap). The niche overlap index is given by the formula:

$$O_{jk} = O_{kj} = \frac{\sum P_{ji} \times P_{kj}}{\sqrt{\sum (P_{ji}^2) \times \sum (P_{kj}^2)}}$$

where O_{jk} is the measure of Pianka's food overlap between species j and k ;

P_{ji} = proportion of food resource i in the total resources used by species j ;

P_{ki} is the proportion of food item i in the total of items used by species k .

Table 02: Information provided by EcoSimR package, niche null model, broken down by season.

Metric:	Geral	Dry	Rain
Algorithm:	RA3	RA3	RA3
Observed Index:	0.72649	0.76493	0.51608
Mean of simulated Index:	0.16207	0.10213	0.21341
Variance of simulated	0.0012798	0.0015392	0.0011928
Lower 95% (1-tail):	0.11335	0.049515	0.1642
Upper 95% (1-tail):	0.22704	0.17538	0.27631
Lower 95% (2-tail):	0.10617	0.044033	0.15645
Upper 95% (2-tail):	0.24382	0.19558	0.29051
Lower-tail P >	0.9998	0.9998	0.9998
Upper-tail P <	2e-04	2e-04	2e-04
Observed metric >	5.000 simulated metrics	5.000 simulated metrics	5.000 simulated metrics
Observed metric <	0 simulated metrics	0 simulated metrics	0 simulated metrics
Observed metric =	0 simulated metrics	0 simulated metrics	0 simulated metrics
Standardized effect size (SES):	15.778	16.894	8.7638

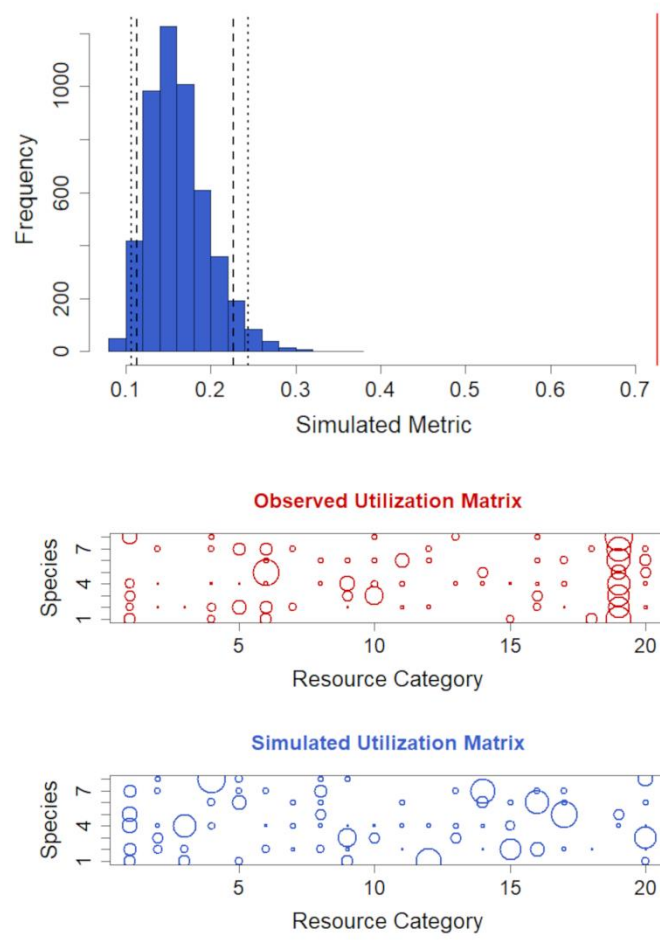


Figure 01: Graphical representation of the general overlay simulations.

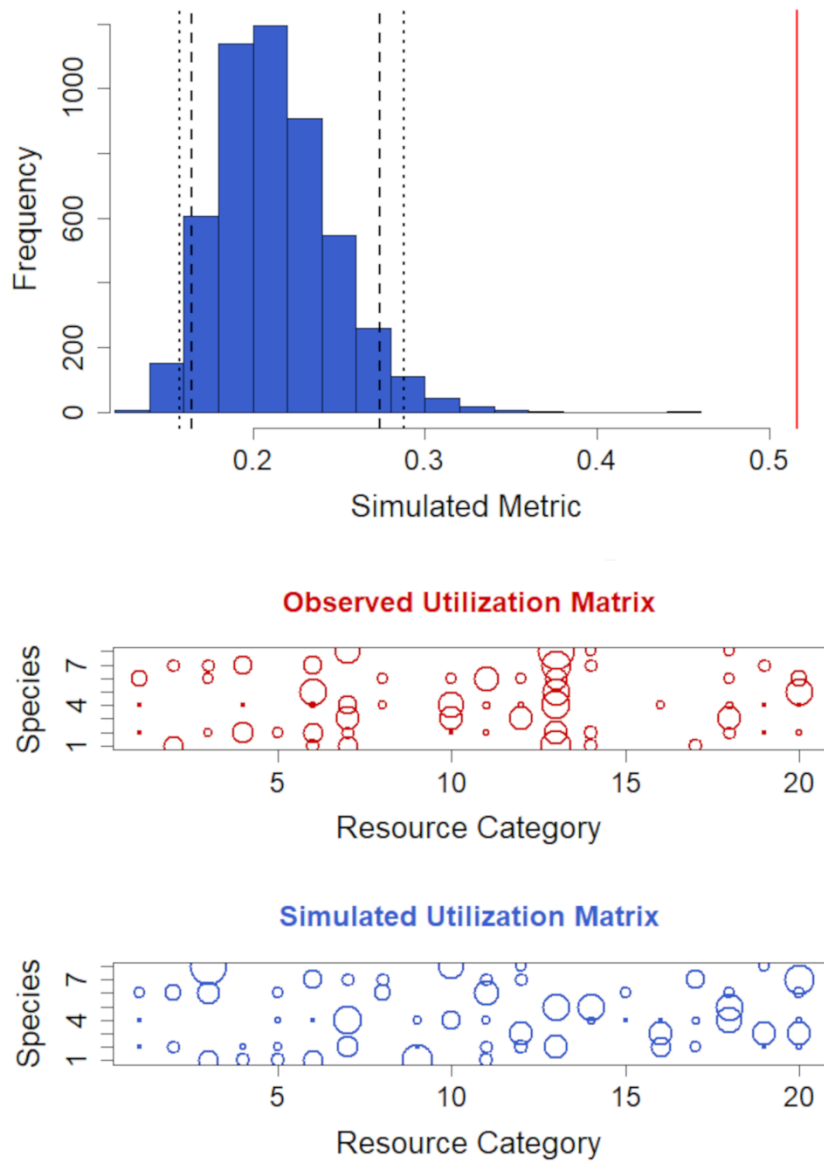


Figure 02: Graphic representation of the overlapping simulations for the rainy season.

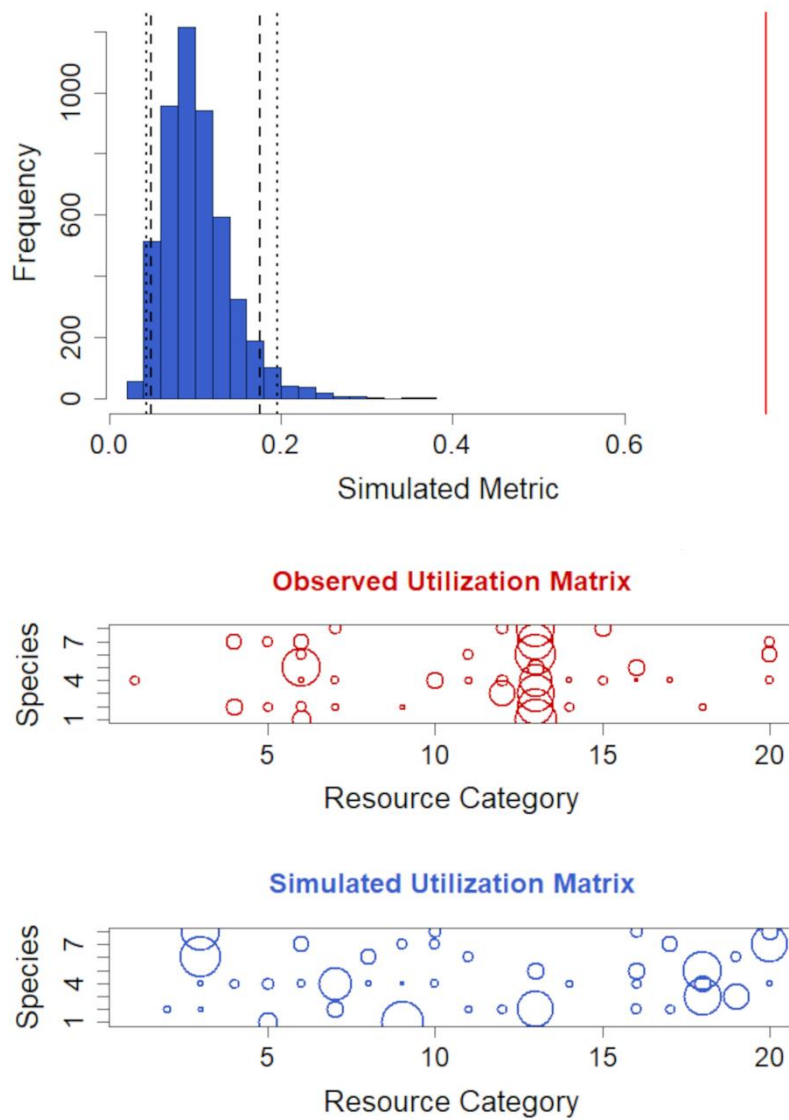


Figure 03: Graphic representation of the overlay simulations for the dry season.

NICHE DECOMPOSITION

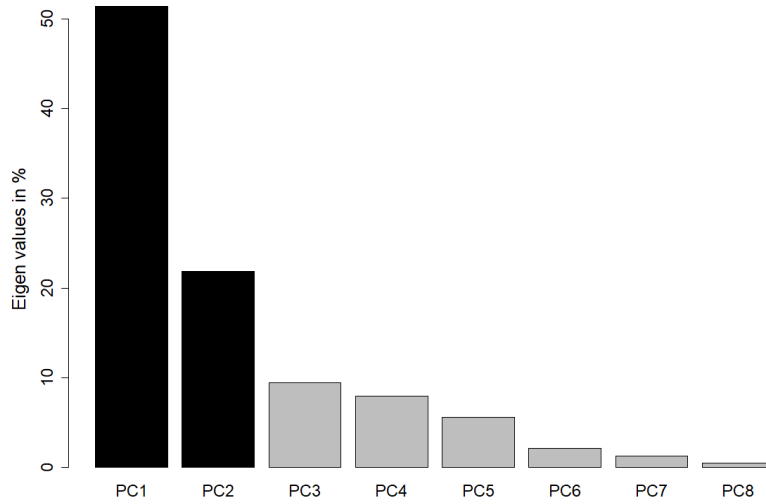


Figure 04: Graphical representation of the OMI axes responsible for 73.23% of the explained variability (OMI1: 51.39% and OMI2: 21.85%).

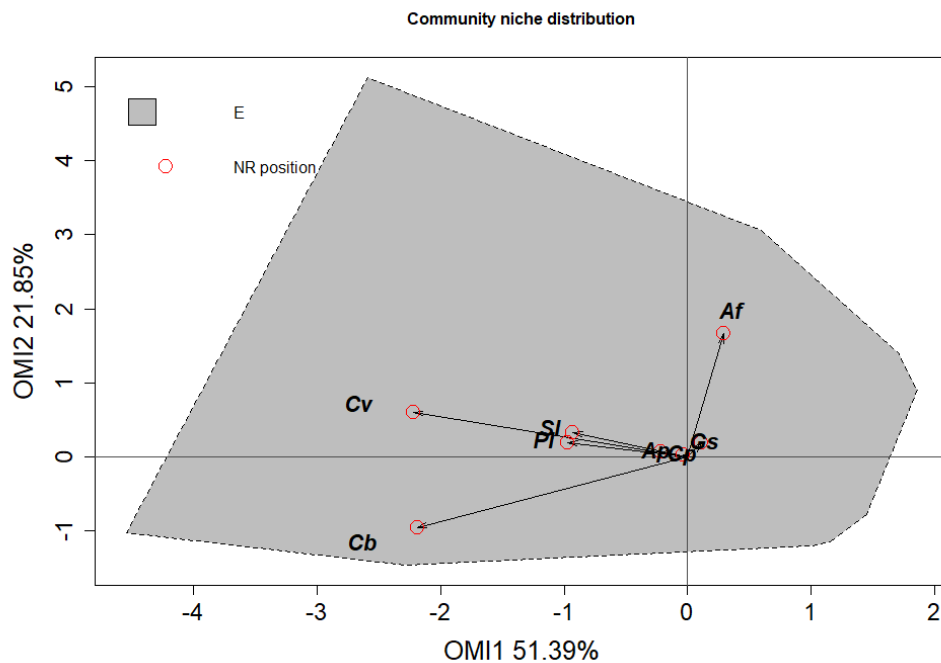


Figure 05: Distribution of bat species within the niche space. E = space of the realized niche, NR position = marginal position of the species within the realized niche; Af = *Artibeus fimbriatus*, Ap= *Artibeus planirostris*, Cb = *Carollia brevicauda*, Cp = *Carollia perspicillata*,

Cv = *Chiroderma villosum*, Gs = *Glossophaga soricina*, Pl = *Platyrrhinus lineatus*, Sl = *Sturnira lilium*.

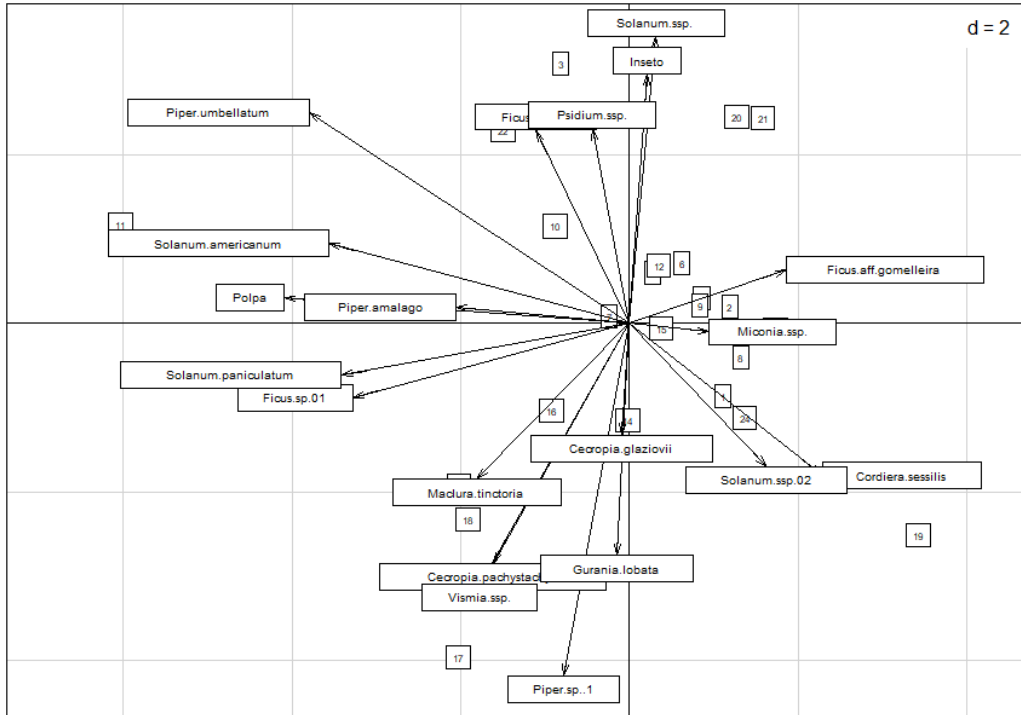


Figure 06: Principal Component Analysis (PCA) of the environmental variables demonstrating the covariation of the variables.

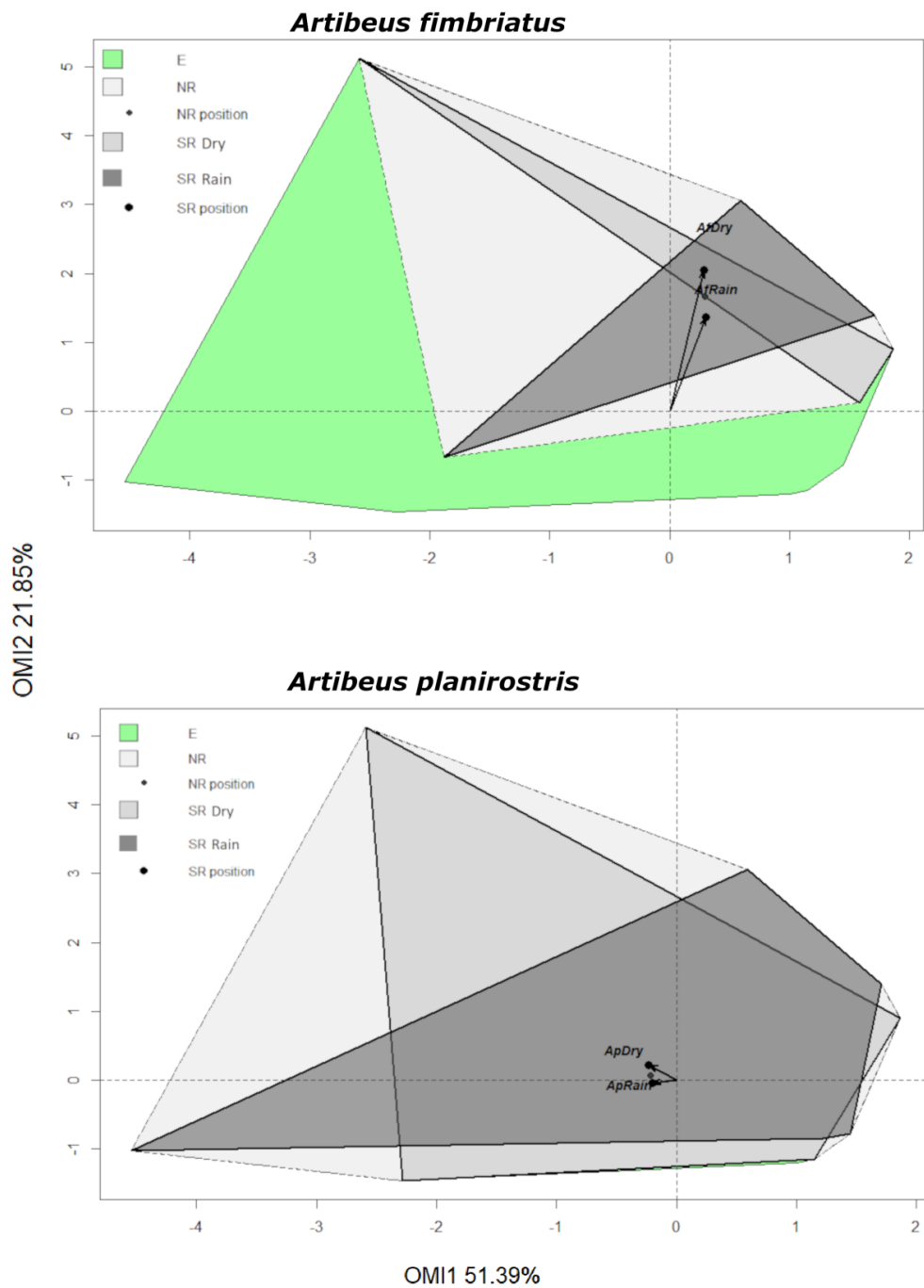


Figure 07: Distribution of the bat species *Artibeus fimbriatus* (top) and *Artibeus planirostris* (bottom) within the realized niche space, dry and rainy seasons, respectively. Arrows represent the marginality of average resource conditions. E = realized niche space, NR = realized niche of species, NR position = marginal position of the species within the realized niche, SR Dry = realized subniche in dry season, SR Rain = realized subniche in rain season, SR position = marginal position of the species within the realized subniche.

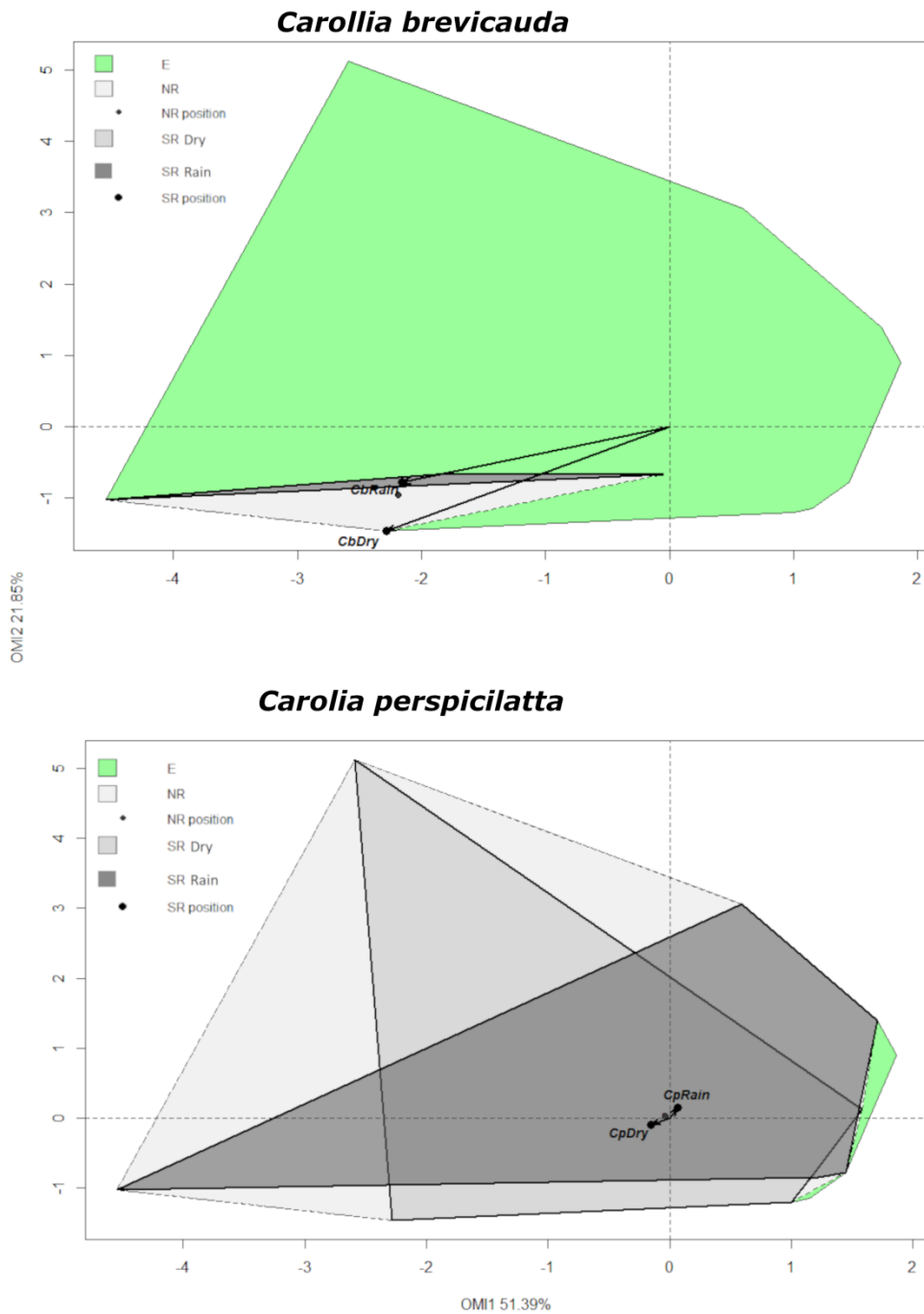


Figure 08: Distribution of the bat species *Carollia brevicauda* (top) and *Carollia perspicilatta* (bottom) within the realized niche space, dry and rainy seasons respectively. Arrows represent the marginality of average resource conditions. E = realized niche space, NR = realized niche of species, NR position = marginal position of the species within the realized niche, SR Dry = realized subniche in dry season, SR Rain = realized subniche in rain season, SR position = marginal position of the species within the realized subniche.

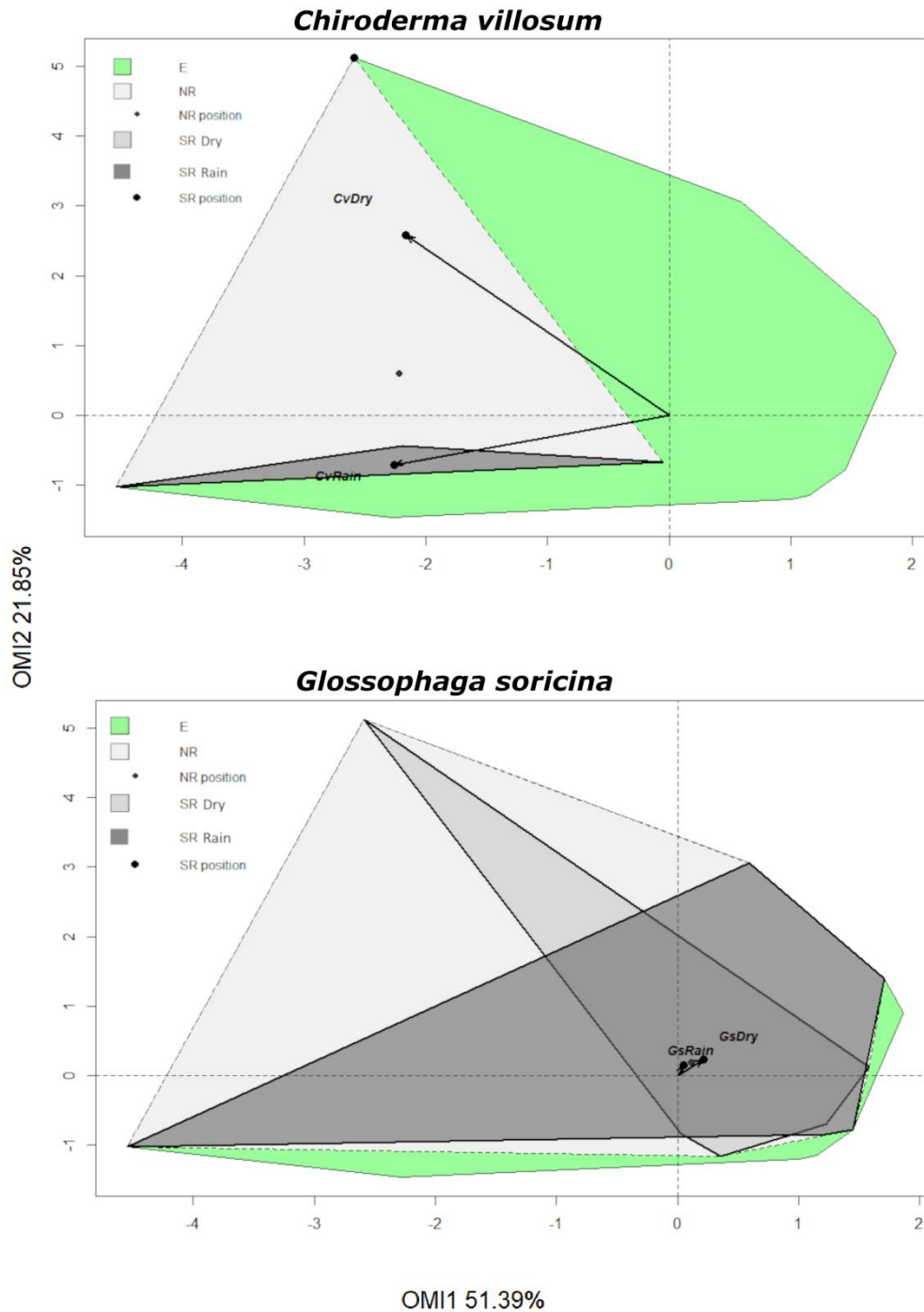


Figure 09: Distribution of the bat species *Chiroderma villosum* (top) and *Glossophaga soricina* (bottom) within the realized niche space, dry and rainy seasons, respectively. Arrows represent the marginality of average resource conditions. E = realized niche space, NR = realized niche of species, NR position = marginal position of the species within the realized niche, SR Dry = realized subniche in dry season, SR Rain = realized subniche in rain season, SR position = marginal position of the species within the realized subniche.

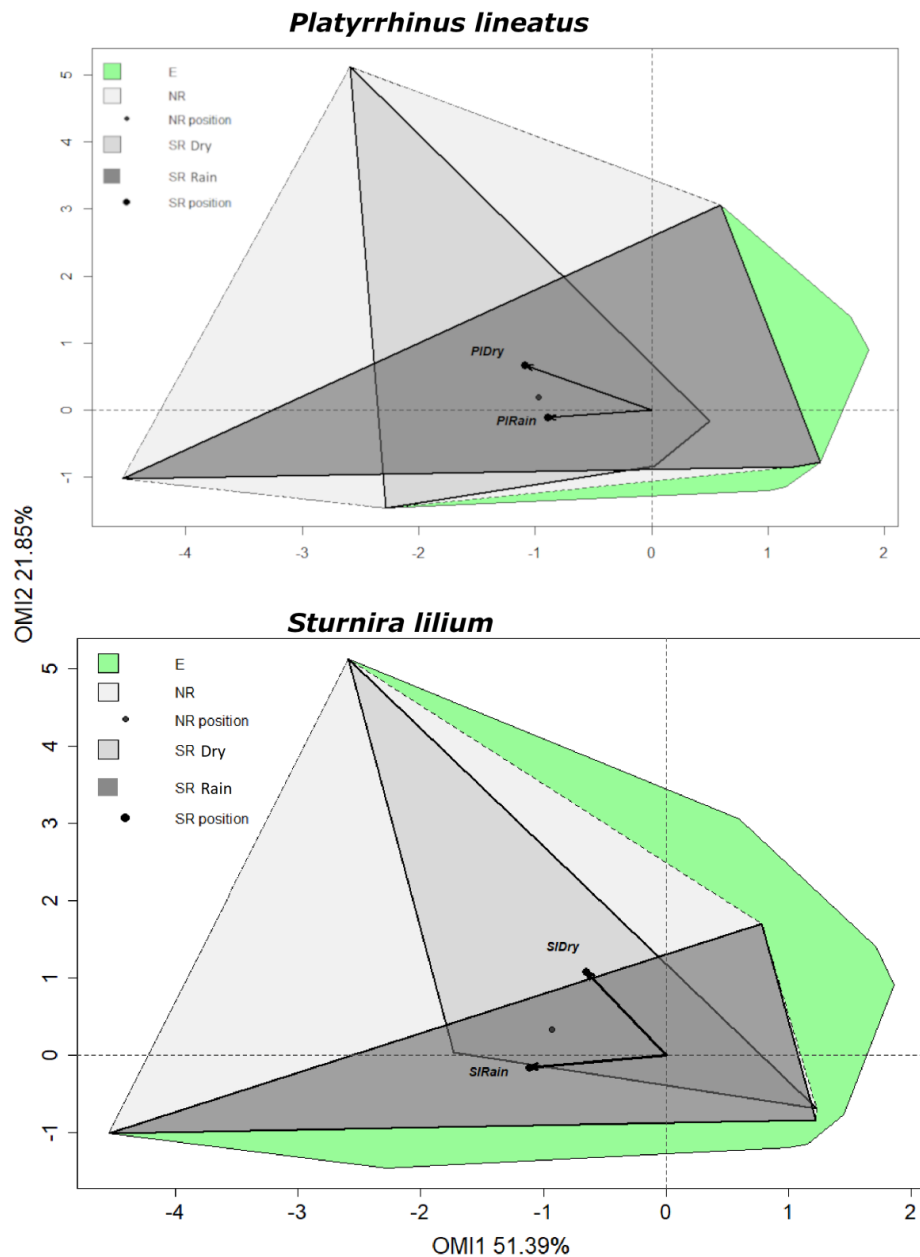


Figure 10: Distribution of the bat species *Platyrrhinus lineatus* (top) and *Sturnira lillium* (bottom) within the realized niche space, dry and rainy seasons, respectively. Arrows represent the marginality of average resource conditions. E = realized niche space, NR = realized niche of species, NR position = marginal position of the species within the realized niche, SR Dry = realized subniche in dry season, SR Rain = realized subniche in rain season, SR position = marginal position of the species within the realized subniche.

Table 03: Subniche values of the most influential resources in the realized niches of the taxa.

Taxa	Observed Subniche	p value	Observed Subniche	p value
	K Dry		K Rain	
Pulp	1.588041e-01	0.511	-1.588041e-01	0.519
Insects	-1.201925e-01	0.690	1.201925e-01	0.678
<i>Ficus</i> sp. 01	-3.768892e-02	0.827	3.768892e-02	0.888
<i>Psidium</i> spp.	-4.505636e-01	0.050	4.505636e-01	0.029
<i>Gurania lobata</i>	-4.789475e-01	0.024	4.789475e-01	0.017
<i>Piper</i> sp. 01	-3.614784e-01	0.091	3.614784e-01	0.144
<i>Ficus aff.gomelleira</i>	-3.118048e-01	0.137	3.118048e-01	0.171
<i>Piper amalago</i>	-2.647643e-01	0.265	2.647643e-01	0.263
<i>Piper umbellatum</i>	2.822672e-01	0.273	-2.822672e-01	0.269
<i>Solanum</i> sp. 02	-3.234231e-01	0.094	3.234231e-01	0.137
<i>Cecropia pachystachya</i>	-2.847474e-01	0.480	2.847474e-01	0.235
<i>Miconia</i> spp.	3.015113e-01	0.482	-3.015113e-01	0.480
<i>Solanum americanum</i>	2.860122e-01	0.106	2.860122e-01	0.109
<i>Cecropia glaziovii</i>	5.163978e-02	0.970	-5.163978e-02	0.789
<i>Ficus</i> sp. 02	-4.199605e-02	0.741	4.199605e-02	0.740
<i>Solanum paniculatum</i>	0.000000e+00	1,00	0.000000e+00	1.00
<i>Cordia sessilis</i>	-2.554881e-01	0.486	2.554881e-01	0.241
<i>Maclura tinctoria</i>	-4.472136e-01	0.044	4.472136e-01	0.090
<i>Solanum</i> sp. 01	1.850823e-17	1,00	3.701195e-17	0.870
<i>Vismia</i> spp.	-3.015113e-01	0.484	3.015113e-01	0.478

REFERENCES

Gotelli NJ, Edmund MH and Ellison AM (2015) EcoSimR: Null model analysis for ecological data. R package version 0.1.0. Accessível em <http://github.com/gotellilab/EcoSimR> doi:10.5281/zenodo.16522

Gotelli NJ and Entsminger GL (2009) *EcoSim: Null models software for ecology. Version 7.72*. Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear. Jericho, VT 05465.

Karasiewicz S, Dolédec S and Lefebvre S (2017) Within outlying mean indexes: Refining the OMI analysis for the realized niche decomposition. *PeerJ*, **5**, e3364

1

2

3

4

5

6

7

**ARTIGO 2 - EFEITOS DA DIVERSIDADE (FILOGENÉTICA, FUNCIONAL E
TAXONÔMICA) DOS MORCEGOS FRUGÍVOROS NA ESTRUTURA DE REDES
ECOLÓGICAS**

10

11

12

ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A *REVISTA DE BIOLOGÍA TROPICAL*

13

(versão preliminar)

14

15 **Efeitos das dimensões da biodiversidade (filogenética, funcional e taxonômica) dos**
16 **morcegos frugívoros na estrutura de redes ecológicas**

17

18 Sebastião Maximiano Corrêa Genelhú¹², orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4773-0735>

19 E-mail: sebastiao Genelhum@gmail.com

20 Rafael de Souza Laurindo³, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9326-3509>

21 E-mail: rafaelslaurindo@gmail.com

22 Arthur Setsuo Tahara¹², <https://orcid.org/0000-0002-6148-5828>

23 E-mail: setsuotahara@gmail.com

24 Letícia Langsdorff Oliveira¹, <https://orcid.org/0000-0002-2352-6959>

25 E-mail: llangsdorff.o@gmail.com

26 Renato Gregorin¹⁴ orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2324-3203>

27 E-mail: renato.gregorin@gmail.com

28

29 1 - Centro de Biodiversidade e Recursos Genéticos, Universidade Federal de Lavras (UFLA)
30 Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

31 2 - Programa de Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade
32 Federal de Lavras (UFLA) Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

33 3 – Instituto Sul Mineiro de Estudos e Conservação da Natureza (ISMECN), Campo Belo
34 (MG), Brasil;

35 4 - Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037
36 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil.

37

38

39 **Resumo**

40

41 **Introdução:** Interações mutualísticas entre morcegos e plantas podem ser organizadas em redes
42 complexas, e analisadas por diversas métricas que permite descrever padrões de interação entre
43 redes. Esses padrões estão relacionados com a diversidade de atributos e histórias evolutivas
44 dentro de uma comunidade.

45 **Objetivo:** Construímos 12 redes de interações entre planta-morcegos com o objetivo de
46 determinar como os índices de diversidade dos morcegos influenciam na estrutura da rede.

47 **Métodos:** Utilizamos índices de diversidade taxonômica, diversidade funcional e diversidade
48 filogenética, e como métricas de rede foram utilizados o aninhamento, a assimetria de força de
49 interação, a assimetria de especialização, a uniformidade de interação, e a modularidade.
50 Rodamos modelos lineares entre índices de diversidade e métricas em nível de rede.

51 **Resultados:** Foram registradas 16 espécies de morcegos e 18 de plantas, conectados por 264
52 interações. O modelo contendo diversidade taxonômica explicou melhor a modularidade, a
53 diversidade funcional explicou a assimetria de força de interação, e assimetria de especialização
54 foi melhor explicada por ambos. Aninhamento e assimetria de especialização não foram
55 relacionados com qualquer índice de diversidade.

56 **Conclusões:** Nossa hipótese de que os índices de diversidade funcional dos morcegos seria o
57 melhor preditor de diversidade para métricas de redes foi parcialmente sustentada, sugerindo
58 que os índices de diversidade podem afetar de forma diferente as propriedades da rede de
59 interação.

60

61 **Palavras chaves:** Aninhamento; Filogenia; Modularidade; Mutualismo; Traços funcionais.

62

63

64

65 **Introdução**

66 As interações mutualísticas formam a base para muitos processos ecológicos, sendo
67 responsável por moldar e sustentar a biodiversidade terrestre (Rohr et al., 2014; Xi et al., 2020).

68 Essas interações podem ser analisadas no contexto de comunidades por meio de ferramentas
69 estatísticas provenientes das teorias de redes complexas (Gaiarsa & Guimarães Jr. 2019;

70 Schlautmann et al., 2021). A descrição de diferentes tipos de sistemas mutualísticos em todo o
71 mundo levou a emergir padrões estruturais não aleatórios de interação (Bascompte et al., 2003;
72 Bascompte & Jordano 2007; Lewinsohn et al., 2006; Olesen et al., 2007). Esses padrões sofrem
73 influência por fatores como os traços biológicos (Bascompte et al., 2003; Jordano et al., 2003;
74 Olesen et al., 2011; Vázquez et al., 2009), sinal filogenético (Faith, 2013; Minoarivelo & Hui,
75 2016; Velásques-Roa & Murillo Garcia, 2019), e a abundância (Laurindo et al., 2020; Vázquez
76 & Aizen, 2004; Velásques-Roa e Murillo-Garcia, 2019)

77 Traços biológicos (i.e. morfológicos, fisiológicos ou comportamentais) são importantes
78 ao restringir as interações entre as espécies (Bascompte & Jordano, 2007; Olesen et al., 2011;
79 Stang et al., 2009; Velásques-Roa & Murillo Garcia, 2019). O valor e a amplitude desses traços
80 que influenciam no funcionamento do ecossistema é chamada de diversidade funcional (Tilman
81 2001), ou seja, leva em consideração não a identidade da espécie, mas sim seu papel funcional
82 no ambiente analisado mediante seus atributos fenotípicos e fisiológicos. Assim, pode-se
83 esperar uma correspondência entre a composição de características (diversidade funcional) da
84 comunidade e a estrutura da rede (Maruyama et al., 2018).

85 Muitas características das espécies são conservadas filogeneticamente (Blomberg et al.,
86 2003), sugerindo um sinal filogenético (diversidade filogenética), e estudos mostraram que as
87 filogenias influenciam a estrutura da rede e as interações de espécies específicas (Thompson,
88 2005; Vázquez et al., 2009; Velásques-Roa & Murillo Garcia, 2019), embora o efeito da
89 filogenia em geral pareça ser modesto (Rezende et al., 2007; Vázquez et al., 2009). Além disso,
90 as abundâncias regulam as probabilidades de encontro entre espécies, nos quais espera-se que
91 espécies abundantes interajam com mais parceiros e com maior frequência, (Chamberlain &
92 Holland, 2009; Laurindo et al., 2020; Vázquez et al., 2009; Winfree et al., 2014).

93 Mesmo existindo essas evidências, a contribuição da abundância e das dimensões da
94 diversidade funcional, filogenética e taxonômica para a estrutura da rede é pouco conhecida, e

95 requer estudos de grupos biológicos importantes para o funcionamento do ecossistema.
96 Morcegos neotropicais são um bom exemplo nesse sentido, porque apresentam elevada riqueza
97 de espécies, e de diversidade funcional e filogenética (Kunz et al., 2011). Os morcegos
98 destacam-se também pela utilização de plantas, sendo mais de 700 espécies de flores, frutos e
99 folhas utilizados como recursos alimentares (Bredt et al., 2012), cumprindo papéis cruciais
100 como polinizadores e dispersores de sementes (Farneda et al., 2020).

101 Estudos prévios têm descrito a estrutura das redes mutualísticas entre morcegos e
102 plantas como altamente modular e especializada (Laurindo et al., 2019; Laurindo et al., 2020;
103 Mello et al., 2011; Mello et al., 2021), onde poucas espécies concentram a maior parcela das
104 interações e desempenham papéis centrais na estruturação dessa rede (Laurindo et al., 2020).
105 Além disso, outros estudos demonstraram que alterações antrópicas, como o desmatamento e a
106 fragmentação de habitats, resultam na perda da diversidade de morcegos, principalmente a
107 funcional, impactando de forma negativa na estabilidade e resiliência das redes mutualísticas
108 (Farneda et al. 2020; García-Morales et al., 2016; Gonçalves et al., 2017; Mello et al., 2021).

109 Nesse sentido, investigamos como a composição taxonômica, funcional, e filogenética
110 da assembleia de morcegos frugívoros influencia na arquitetura de redes de interações morcego-
111 planta em uma região altamente fragmentada. Nossa hipótese é que os índices relacionados à
112 diversidade funcional são os que melhor explicam a arquitetura das redes analisadas, porque
113 são determinantes para interações em pares, restringindo assim o tipo, número e força das
114 interações exercidas por uma espécie (Maglianesi et al., 2014).

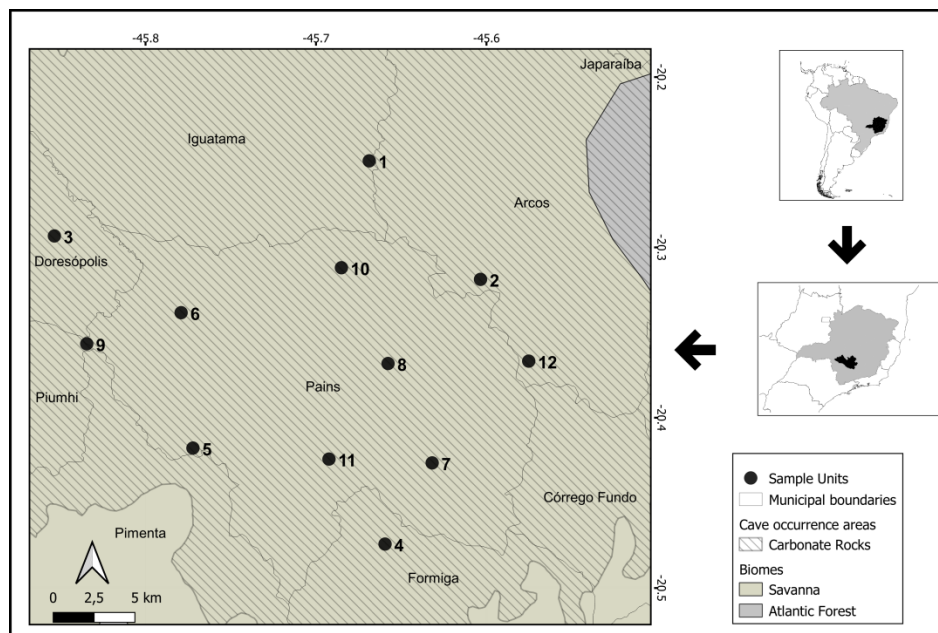
115

116 MATERIAL E MÉTODOS

117 **Área de estudo:** O trabalho foi realizado na província Cárstica do Alto São Francisco,
118 também denominada Carste de Arcos, Pains e Doresópolis (Figura 01) (Menegasse et al., 2002).

119 O clima da região, segundo o sistema de classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, um
 120 clima subtropical com inverno seco e ameno e verão úmido e quente (Alvares et al., 2013).

121 A temperatura média anual é de cerca de 20°C, com média mínima no mês mais frio de
 122 12°C, e média máxima no mês mais quente de 30°C, sendo a precipitação média anual de
 123 aproximadamente 1 500 mm (Nimer, 1989). A região de estudo está localizada no domínio do
 124 Cerrado, coincidindo com os limites mais interioranos da Mata Atlântica, a vegetação nativa da
 125 região encontra-se altamente descaracterizada, tendo sido em grande parte substituída por
 126 pastagens e plantações (Oliveira et al., 2012; Sano et al., 2010).



127
 128 **Fig. 1.** Unidades Amostrais da coletas de dados para análise das Redes de Interação.

129
 130 **Amostragem da quiropterofauna:** Para a amostragem de morcegos, foram realizadas
 131 seis expedições de campo ao longo de um ano, abrangendo 12 locais de amostragem
 132 (aflorentos com presença de cavernas como centróide). Em cada local foram armadas seis
 133 redes de neblina de 12 x 2,5 m, que permaneceram abertas por seis horas a partir do pôr do sol
 134 totalizando 1 080 m²h para cada local, e um total de 19.960 m²h. Os morcegos coletados foram
 135 acondicionados em sacos de algodão individuais por 30 minutos para coleta das fezes. A

136 identificação foi baseada em Diaz et al., (2016). Todos os procedimentos de manuseio seguem
137 a recomendação de Sikes et al., (2016). Este estudo foi autorizado pelo Instituto Chico Mendes
138 de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), licença 74010-1, e Conselho de Bioética Animal
139 da UFLA, protocolo 002/2020.

140 As amostras fecais coletadas foram acondicionadas em microtubos plásticos de 1,5 ml
141 contendo álcool 70%, devidamente etiquetados, e posteriormente levadas ao laboratório para
142 análise sob lupa estereomicroscópica. O material foi identificado até o menor nível taxonômico
143 possível com auxílio de bibliografia disponível (Bredt et al., 2012; Kuhlmann, 2018; Lima et
144 al., 2016; Lobova, 2009; Lorenzi, 1992, 1998, 2009).

145

146 **Análise das redes de Interação:** Com os dados construímos 12 redes de interação
147 ponderadas pela abundância. Para construir as matrizes de interações, a intensidade de interação
148 (I_{ij}) foi definida como a proporção de amostras de uma espécie de morcego j em que uma
149 determinada espécie de planta i esteve presente (ver matrizes no material suplementar). Essa
150 medida leva em consideração, portanto, diferenças no número de unidades amostrais coletadas
151 para as diferentes espécies de morcegos, constituindo uma medida relativa comparável entre
152 espécies dentro de uma comunidade e entre comunidades (Laurindo et al., 2019).

153 Inicialmente calculamos 10 métricas de organização de rede: Aninhamento (weighted
154 NODF), Conectância (weighted connectance), Assimetria de força de interação (em inglês
155 interaction strength asymmetry – ISA), Assimetria de especialização, Densidade de ligações,
156 Uniformidade de interação, Equilíbrio de interação de Alatalo, Diversidade de Shannon,
157 Especialização (H2) e Modularidade (QuanBiMO). Para estimar a significância delas foi
158 realizada a comparação dos valores observados com o intervalo de confiança de 95% extraído
159 de 1000 redes aleatórias que foram criadas utilizando o modelo nulo vaznull proposto por

160 Vázquez et al. (2007). Esse modelo nulo mantém o número de espécies, o tamanho da rede e a
161 conectância constantes enquanto gera redes aleatórias.

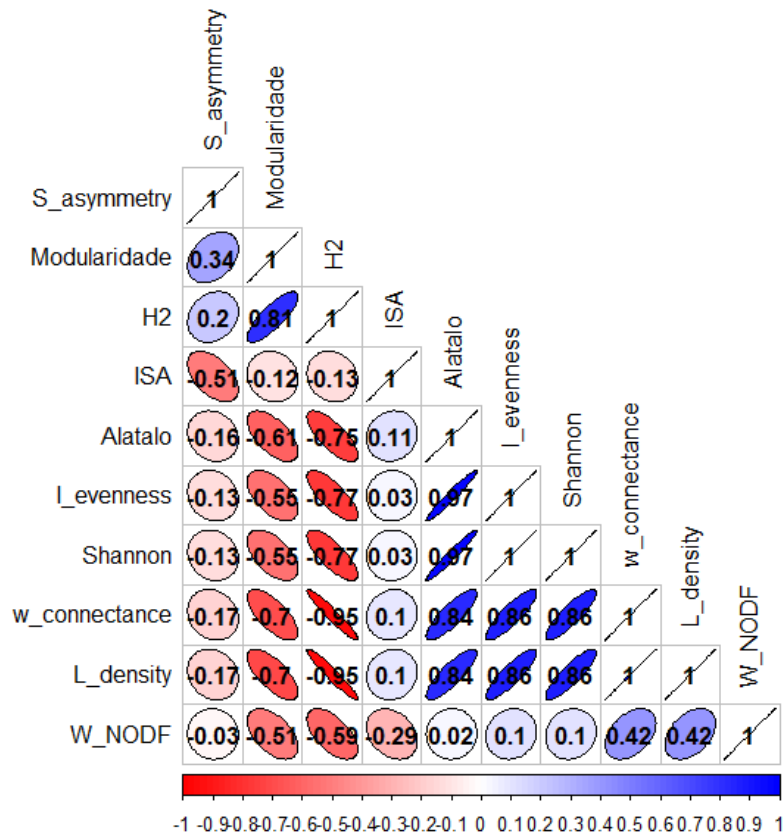
162 Para evitar que essas métricas sejam influenciadas por diferenças no tamanho das redes,
163 foi utilizada a transformação z-score para cada métrica, que representa a diferença entre o valor
164 observado e o valor médio obtido pelos modelos nulos, dividido pelo desvio padrão destes
165 modelos (Ulrich et al., 2009). Sendo assim, os valores utilizados nas análises estatísticas foram
166 os valores transformados por meio do z-score. Algumas métricas de rede não foram utilizadas
167 porque são insensíveis a randomizações (por exemplo “assimetria da rede”).

168 A fim de detectar a correlação entre as métricas foi realizado um teste usando o
169 coeficiente de correlação de Pearson, com nível de correlação considerado como não aceitável
170 para coeficientes de Pearson acima de 0.70 (Dormann et al., 2012; Zuur et al., 2007; Zuur et
171 al., 2009). As métricas Conectância, Densidade de ligações, Equilíbrio de interação de Alatalo,
172 Diversidade de Shannon, e Especialização apresentaram alta correlação e foram retiradas
173 (Figura 2) (para mais informações sobre as métricas ver material suplementar).

174 Todas as métricas foram calculadas utilizando o pacote “bipartite” (Dormann et al.,
175 2008), e a correlação com auxílio do pacote “corrplot” (Wei & Simko, 2021) no software R
176 versão 4.0.4 (R Development Core Team, 2021).

177

178



179

180 **Fig. 2.** Detalhe da correlação entre as métricas usando o coeficiente Pearson. As cores azuis representam relações
 181 positivas, e vermelhas negativas. S_asymmetry = Assimetria de especialização; H2 = Especialização; ISA =
 182 Assimetria de força de interação; Alatalo = Equilíbrio de interação de Alatalo; L_evenness = Uniformidade de
 183 interação; Shannon = Diversidade de Shannon; L_density = Densidade de ligações; W_NODF = Aninhamento.

184

185 **Traços Funcionais e filogenia dos Morcegos:** Calculamos três traços funcionais, sendo
 186 o primeiro baseado em classificações prévias de grau de frugivoria dos morcegos na região
 187 Neotropical (Fleming & Kress 2013; Lobo et al., 2009; Mello et al., 2014). Assim,
 188 classificamos as espécies de cada rede em: (1) espécies predominantemente insetívoras que se
 189 alimentam de frutos ocasionalmente (filostomídeos da sub-família Phyllostominae), (2)
 190 espécies predominantemente nectarívoras que têm frutos como alimento secundário
 191 regularmente (subfamília Glossophaginae e Lonchophyllinae) e (3) o frugívoros obrigatórios
 192 altamente dependentes de frutos (subfamílias Carollinae e Stenodermatinae).

193 O segundo traço funcional utilizado foi o Índice de Condição Corporal (ICC), que é
194 expresso em g/mm e calculado por meio do conhecimento prévio do peso corporal e tamanho
195 do antebraço. Segundo Speakman & Racey (1986), esse índice refere-se à quantidade relativa
196 de reservas de energia, em comparação com alguma medida do tamanho corporal. Assim,
197 espera-se que indivíduos com maiores valores de ICC tenham maiores reservas e com isso
198 interagem com maior frequência.

199 O terceiro traço utilizado foi relacionado à morfologia craniana onde utilizamos nove
200 medidas cranianas (maior comprimento do crânio, maior comprimento da mandíbula,
201 comprimento da série de dentes superiores, comprimento da série de dentes inferiores, largura
202 entre molares, largura entre caninos, largura do processo mastoideo, largura da mandíbula e
203 comprimento zigomático). Como essas medidas são altamente correlacionadas, nós utilizamos
204 a análise de componentes principais (PCA) para resumir as informações das medidas em uma
205 única variável (PC1) (Laurindo et al., 2020). Diferenças no tamanho e formato do crânio têm
206 relação com o hábito alimentar e força de mordida das espécies, e portanto, influenciam na dieta
207 dos morcegos (Nogueira et al., 2009). Altos valores da PC1 refletem crânios de grandes
208 frugívoros e morcegos onívoros, que são longos e largos, o que permitiria o consumo de frutos
209 maiores e com maior dureza, enquanto os valores mais baixos refletem principalmente os
210 crânios de morcegos nectarívoros, que são longos, porém estreitos, o que gera uma menor força
211 de mordida e pode restringir o acesso a certos tipos de frutos. Os dados sobre morfologia
212 craniana foram obtidos de espécimes depositados na Coleção de Mamíferos da Universidade
213 Federal de Lavras (CMUFLA), preferencialmente de indivíduos provenientes de regiões mais
214 próximas da área de estudo, no intuito de evitar variação geográfica.

215 Para contabilizar a filogenia, utilizamos a topologia apresentada por Shi & Rabosky
216 (2015), somente com as espécies amostradas. Ou seja, todas as espécies que constavam na
217 filogenia, mas que não estavam em nosso banco de dados, foram removidas da filogenia

218 original. Estimamos valores de sinal filogenético das características usando a estatística K
219 (Blomberg et al., 2003). Usamos os pacotes “APE” (Paradis, 2012) e “picante” (Kembel et al.,
220 2010) do R para as análises de consenso.

221

222 **Análises de diversidade:** Para cada rede, calculamos três índices de cada dimensão de
223 diversidade: taxonômica, funcional e filogenética. Para a diversidade taxonômica utilizou-se a
224 riqueza de espécies de morcegos, índice de Shannon, e a equitabilidade de Pielou (J') (Pielou,
225 1967), que permite determinar a proximidade do número de interações de cada espécie na rede.

226 Para a diversidade funcional utilizamos o índice de Diversidade Funcional (FD -
227 Functional diversity em inglês) que consiste na construção de uma matriz utilizando dados das
228 espécies e seus atributos funcionais (Petchey & Gaston, 2002): a uniformidade funcional (FEve)
229 que fornece um análogo à uniformidade taxonômica, quantificando a regularidade da
230 distribuição de abundância no espaço funcional (Mason et al., 2005; Vileger et al., 2008), e a
231 dispersão funcional (FDis), proposto por Laliberté & Legendre (2010), que é baseada em
232 dispersão multivariada, sendo caracterizada pela distância média de cada táxon, para o centróide
233 de todos os táxons na comunidade (Anderson et al., 2006).

234 Sobre a diversidade filogenética utilizamos o índice de Variabilidade Filogenética das
235 Espécies (phylogenetic species variability - PSV), que quantifica como a relação filogenética
236 diminui a variação de um traço neutro hipotético e compartilhado por todas as espécies na
237 comunidade. Ele varia entre 0, onde todas as espécies estão intimamente relacionadas, e 1, onde
238 todas as espécies apresentam uma tendência semelhante no grau de relação (espécies estão
239 distantes). O segundo índice quantifica a riqueza de espécies filogenéticas (phylogenetic
240 species richness - PSR); essa métrica é diretamente comparável à métrica tradicional de riqueza
241 de espécies, mas inclui parentesco filogenético. Por fim a uniformidade filogenética das
242 espécies (phylogenetic species evenness - PSE), que é uma versão ponderada da variabilidade

243 das espécies filogenéticas, e resume o grau em que as espécies em uma comunidade são
244 filogeneticamente relacionadas e equilibradas com a abundância (Helmus et al., 2007; Helmus
245 & Ives, 2012).

246 Todas as análises de diversidade foram realizadas usando os pacotes “vegan” (Oksanen
247 et al., 2020), “FD” (Laliberté et al., 2014) e “picante” (Kembel et al., 2010) do R.

248

249 **Análise dos dados:** Testamos a existência de multicolinearidade entre as métricas de
250 diversidade usando o fator de inflação de variância (VIF), onde os valores dos parâmetros
251 abaixo de 3 sugerem falta de colinearidade entre eles (Tavares et al., 2016; Zuur et al., 2010).
252 Os índices Riqueza, PSR e FD apresentaram altos valores de VIF e alta colinearidade, sendo
253 então retiradas. Realizamos as análises de multicolinearidade utilizando o pacote “usdm”
254 (Naimi et al., 2017) do R.

255 Para testar nossa hipótese e analisar o efeito de cada índice de diversidade sobre as
256 métricas, usamos modelos lineares generalizados (GLM), sendo que, consideramos como
257 variáveis preditoras os índices de diversidade taxonômica, filogenética e funcional, e como
258 variáveis de resposta, utilizamos métricas de organização de rede (Aninhamento, Assimetria de
259 força de interação, Assimetria de especialização, Uniformidade de interação, e Modularidade),
260 usamos uma distribuição de erro Gaussiana (normalidade residual testada pelo teste de Shapiro)
261 (Mello et al., 2021).

262 Os modelos foram comparados de acordo com o critério de informação de Akaike de
263 segunda ordem, com correção para pequenas amostras (AICc). Foram considerados como
264 modelos igualmente parcimoniosos e bem ajustados aqueles com valor $\Delta AICc < 2$ (Burnham
265 & Anderson, 2002), após essa etapa, verificamos a importância das variáveis explicativas
266 selecionadas para o modelo (Tavares et al., 2015).

267 Os modelos foram avaliados pelo exame estatístico de normalidade e
268 homocedasticidade dos resíduos. Usamos o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, que foca na
269 assimetria e curtose da distribuição empírica dos resíduos e é útil para tamanhos de amostra
270 pequenos ou quando os dados resultam de amostragem em pequena escala (Ghasemi &
271 Zahediasl, 2012; Shapiro e Wilk, 1965). A homocedasticidade foi avaliada pelo teste de
272 Breusch-Pagan (Breusch & Pagan, 1979). Aplicamos o teste de Durbin-Watson para verificar a
273 presença de autocorrelação dos resíduos (Durbin & Watson, 1950). Para todos os testes foi
274 considerado um nível de significância de 5%. Além disso, comparamos nosso modelo com o
275 modelo nulo por meio do teste do qui-quadrado da razão de verossimilhança pela função
276 nagelkerke do pacote “rcompanion” (Mangiafico, 2021).

277 Para essas análises utilizamos os pacotes “nlme” (Pinheiro et al., 2013), “ggeffects”
278 (Lüdtke, 2018), “lme4” (Bates et al., 2015), “MuMIn” (Bartoń, 2020) e “MASS” (Venables
279 & Ripley, 2002) do R.

280

281 RESULTADOS

282 Para as redes analisadas foram registradas 16 espécies de morcegos e 18 de plantas,
283 conectadas por 264 interações. A subfamília Stenodermatinae teve destaque com 130
284 interações, e dessas, 87 foram por *Artibeus planirostris*. Nossos resultados apontaram baixa
285 variabilidade nos índices funcionais, indicando uma baixa variação entre as espécies de
286 morcegos frugívoros. Importante destacar que os resultados sobre índice filogenéticos mostram
287 que as espécies de morcegos apresentam distância no grau de relação filogenética. Isso é
288 importante porque, teoricamente, quanto mais distantes geneticamente são as espécies que
289 compõem uma comunidade, maior diversidade evolutiva esta carrega (Cianciaruso et al., 2009).
290 Descrevemos os valores de z-score das métricas de rede, e dos índices das dimensões de
291 diversidade na Tabela 1.

292 Usando nossa seleção dos melhores modelos estatísticos fomos capazes de detectar
 293 quais índices afetaram as métricas das redes (Tabela 2). Todos os modelos foram validados
 294 pelos testes de normalidade, homocedasticidade e autocorrelação dos resíduos. A Modularidade
 295 foi melhor explicada pelo preditor contendo o índice de Shannon, relação negativa. O
 296 Aninhamento melhor explicado pelo modelo nulo, seguido por PSV, e encontramos uma relação
 297 negativa com Shannon com valor próximo de significativo ($p=0,0759$). Para assimetria de força
 298 de interação, o modelo que melhor explicou foi o com preditor FEve. Em relação a Assimetria
 299 de especialização o modelo que melhor explicou foi o que incluiu os preditores FEve e Pielou,
 300 e encontramos relação significativa positiva com Pielou ($p < 0,05$) e negativa com FEve ($p =$
 301 $0,02$). Por fim, Uniformidade de interação foi melhor explicada pelo modelo nulo seguido pelo
 302 preditor PSV.

303

304

305

TABELA 1

306

Valores de z-score das métricas de rede, e valores dos índices das dimensões de diversidade. WNODF =

307

Aninhamento; ISA = Assimetria de força de interação; S_asymmetry = Assimetria de especialização; I_evenness

308

= Uniformidade de interação.

Rede	WNODF	ISA	S_asymmetry	I_evenness	Modularidade	Shannon	Pielou	PSV	PSE	FDIs	FEve
1	-0.6702	0.7431	-0.6595	-0.4407	-0.081	0.822	0.903	0.745	0.402	0.077	0.903
2	-1.758	-0.5560	0.2366	-0.9803	1.168	1.161	0.721	0.752	0.562	0.127	0.477
3	1.339	-0.9460	-0.2950	0.61984	-0.099	1.466	0.911	0.880	0.828	0.165	0.785
4	0.02908	-0.3003	0.8990	-0.22446	0.6478	0.992	0.910	0.839	0.735	0.195	0.562
5	1.504	-0.8263	0.0529	-3.755	0.7733	0.858	0.781	0.733	0.558	0.135	0.551
6	-0.07411	0.77900	-1.664	-0.8300	0.0379	1.314	0.675	0.668	0.646	0.125	0.704
7	0.18918	-1.110	-0.2765	-0.63227	-0.4405	0.748	0.465	0.798	0.370	0.140	0.541
8	-1.999	-0.3845	-0.2120	-2.500	1.563	1.568	0.805	0.708	0.624	0.118	0.622
9	-0.5321	-0.5885	-0.2482	-1.511	0.2852	1.080	0.671	0.832	0.635	0.103	0.460

10	0.1202	-0.4529	-0.0835	-2.751	1.368	1.311	0.814	0.809	0.739	0.133	0.650
11	-0.9920	-0.7805	-0.2348	-1.296	2.206	1.350	0.649	0.665	0.621	0.107	0.575
12	-1.157	0.2219	0.00269	-2.984	1.367	1.992	0.906	0.749	0.691	0.205	0.651

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

A comparação com o modelo nulo apontou nossos modelos explicando melhor para Modularidade ($R^2 = 0,79$, $p=0,019$), Aninhamento ($R^2 = 0,69$, $p = 0,04$), e Assimetria de especialização ($R^2 = 0,96$, $p = 0,004$), porém para Assimetria de força de interação ($R^2 = 0,63$, $p = 0,16$), e Uniformidade de interação ($R^2 = 0,43$, $p = 0,37$) o modelo nulo se apresentou melhor que nossos dados. Em relação a importância, os índices taxonômicos foram mais importantes para Modularidade e Aninhamento (Shannon para ambos), funcional para as métricas ISA e Assimetria de especialização (FEve para ambas), e filogenética para Uniformidade de interação (PSV).

TABELA 2

Comparação de diferentes modelos estatísticos gerados explicando a influência de diferentes índices de diversidade nas métricas de rede. Para cada variável resposta foram executados modelos com todas as variáveis de combinações possíveis, incluindo o modelo nulo (intercepto). Aqui estão apenas modelos com $\Delta AICc < 2$.

Métricas	Preditores	df	Loglik	AICc	$\Delta AICc$	$\omega AICc$	Sinal
Modularidade	Shannon	3	-12.09	33.18	0	0.35	-
	Nulo	2	-14.03	33.39	0.21	0.32	
	PSV	3	-12.70	34.40	1.22	0.19	-
	PSE+Shannon	4	-10.64	34.99	1.81	0.14	+ -
Aninhamento	Nulo	2	-17.47	40.27	0	0.42	
	PSV	3	-16.16	41.33	1,06	0.25	-
	Shannon	3	-16.59	42.17	1,90	0.16	-
	PSE+Shannon	4	-14.24	42.19	1,91	0.16	+ -
Assimetria de força de interação	FEve	3	-8.43	25.86	0	0.50	+
	Nulo	2	-10.81	26.95	1.08	0.29	
	FEve+PSV	4	-6.93	27.57	1.71	0.21	+ -

Assimetria de especialização	FEve+Pielou	4	-4.42	22.56	0	0.50	- +
Uniformidade de interação	Nulo	2	-19.65	44.63	0	0,53	
	PSV	3	-18.81	46.62	2,00	0,19	+

325

326

TABELA 3

327

Modelo médio e valores de importância que avaliam o efeito dos preditores na métrica de rede assimetria de

328

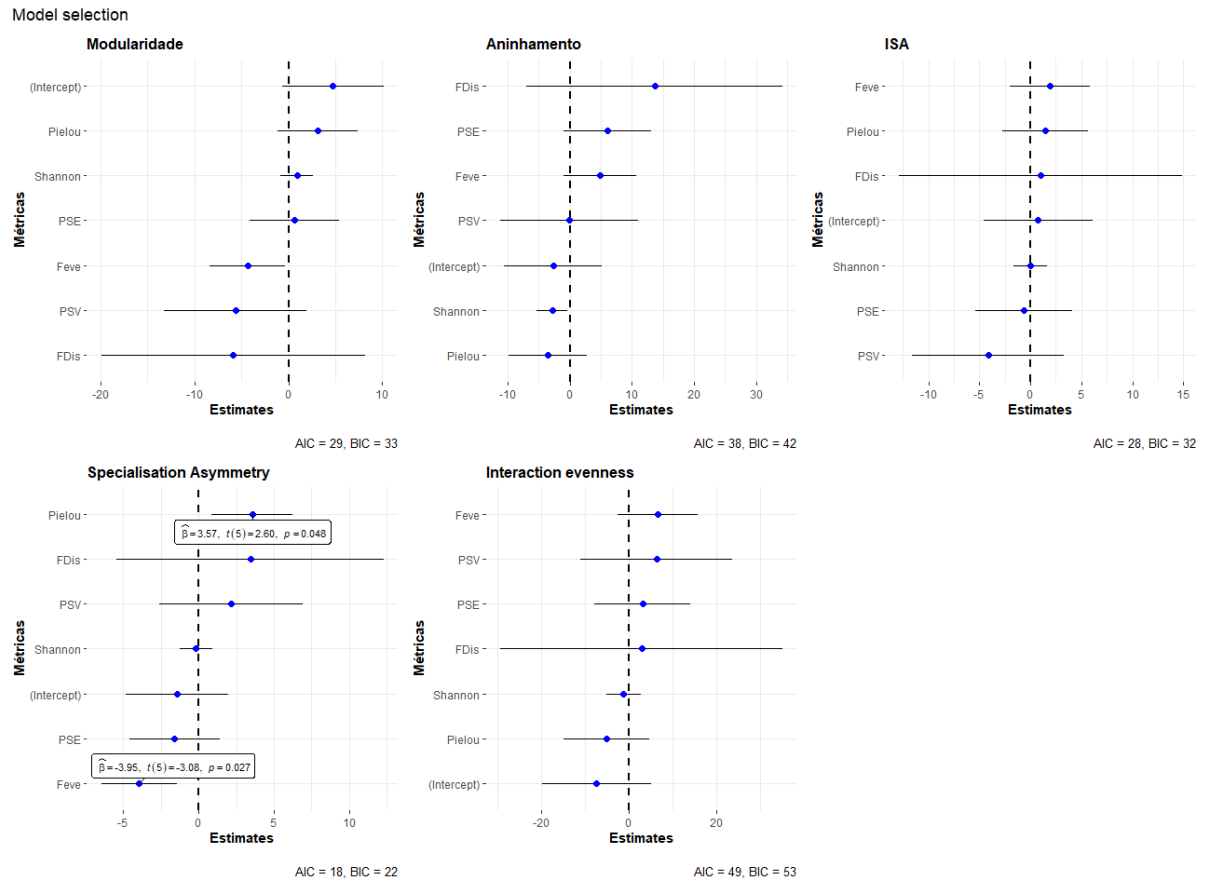
especialização.

Assimetria de especialização	Estimate	EP	T valor	IC		Importancia	P valor
				25%	97,5%		
Intercepto	-1.43	1.74	-0.826	-4.8342	1.96713		0.4463
Shannon	-0.16	0.55	-0.294	-1.2338	0.9115	0,10	0.7803
Pielou	3.57	1.37	2.603	0.88285	6.2664	0,61	0.0481
PSV	2.17	2.42	0.894	-2.5837	6.9192	0,18	0.4122
PSE	-1.59	1.54	-1.032	-4.6060	1.4277	0,09	0.3492
Fdis	3.43	4.52	0.760	-5.41877	12.2857	0,16	0.4814
FEve	-3.95	1.28	-3.080	-6.46704	-1.43695	0,70	0.0275

329

EP = Erro padrão, IC% Intervalo de confiança

330



331

332 **Fig. 3.** Efeitos dos preditores e sua interação com as métricas de rede, avaliados usando modelos lineares
 333 generalizados. As estimativas de efeito são baseadas na distribuição posterior de efeito fixo, caracterizada por sua
 334 média (ponto) e intervalos confiáveis (IC 95%, linhas).

335

336

DISCUSSÃO

337

338

339

340

341

342

343

344

Nossos resultados demonstram que os índices de diversidade funcional foram melhores preditores para algumas das métricas de redes analisadas. Os modelos formados por esta variável explicam melhor a variância na Assimetria de força de interação e Assimetria de especialização (em conjunto com Pielou). Por outro lado, as outras métricas responderam a outros índices de diversidade, principalmente aos taxonômicos.

A Modularidade e o Aninhamento são padrões rotineiros em diferentes tipos de redes de interação (Krasnov et al., 2012; Olesen et al., 2007; Schleuning et al., 2014; Silva et al., 2016), sendo sugerida com importante para a coexistência de espécies e a estabilidade da comunidade

345 (Thebaut & Fontaine, 2010; Schleuning et al., 2014). São topologias diferentes e negativamente
346 relacionadas, porém muitas redes apresentam uma combinação dos dois padrões (Olesen et al.,
347 2007; Thebaut & Fontaine, 2010), ou seja, apresentam topologia modular com módulos
348 internamente aninhados (Pinheiro et al., 2019). Essa explicação pode ajudar a entender nossos
349 resultados para ambas métricas, sendo uma relação negativa com os índices Shannon e PSV, e
350 positiva com o índice filogenético PSE.

351 Para Modularidade, a relação negativa com Shannon e PSV pode estar relacionada ao
352 fato de os módulos manterem espécies estreitamente relacionadas, filogeneticamente próximas
353 ou funcionalmente semelhantes, em módulos separados para evitar a competição e manter sua
354 coexistência (Schleuning et al., 2014 ; Silva et al., 2016). Em contrapartida também colabora
355 para entender a relação positiva com PSE, que é um índice associado ao quanto as espécies são
356 filogeneticamente relacionadas na comunidade, equilibrado com a abundância. Para o
357 Aninhamento esses resultados podem estar relacionados a complementaridade fenotípica entre
358 as espécies (Rezende et al., 2007; Thompson, 2005), ou desigualdade de abundâncias entre as
359 espécies (Vázquez et al., 2007).

360 De fato, a abundância é um fator chave para a interação entre morcegos e plantas, porque
361 espécies abundantes de morcegos interagem com mais espécies de plantas, assim,
362 desempenham papéis mais importantes nas redes (Laurindo et al., 2020). Nossos resultados
363 apontam que os índices que tiveram importância destacada para os modelos, foram os índices
364 sensíveis a abundância, e isso ajuda a entender os resultados para as métricas de assimetria, já
365 que estudos levantaram a hipótese de que a assimetria observada em muitas redes de interação
366 pode resultar da distribuição da abundância entre as espécies (Laurindo et al., 2020; Montoya-
367 Arango et al., 2019; Vázquez et al., 2007).

368 Os modelos apresentaram resultado contrastante das métricas relacionadas a Assimetria
369 e o índice funcional FEve, positivo para assimetria de força de interação, e negativo para

370 assimetria de especialização. Essa relação positiva era esperada, ao passo que a utilização de
371 recursos é particularmente pronunciada entre as espécies mais frequentes e/ou abundantes, e
372 espécies raramente interagindo usam seus recursos de forma mais oportunista (Bluthgen et al.,
373 2007). Em contrapartida a relação negativa pode estar relacionado com o fato de a
374 especialização em nível de espécies ser menos afetada por restrições na arquitetura da rede
375 (números desiguais de espécies), e pode indicar papéis diferentes de espécies raras e comuns
376 em uma rede (Sebastian-Gonzalez & Dalsgarrd, 2015).

377 Nossos resultados mostraram também que a uniformidade de interação aumenta com o
378 incremento da variabilidade filogenética de morcegos, ou seja, maior diversidade sugere maior
379 riqueza de espécies e uniformidade de interações. Esse resultado desperta a atenção de que a
380 filogenia pode ajudar na distribuição mais uniforme de conexões, visto que os riscos de perder
381 uma conexão ou espécies inteiras, ou flutuações de frequências estão espalhados
382 uniformemente pela rede (Kaiser-Bunbury & Bluthgen, 2015).

383 Por fim, embora os índices de diversidade taxonômica sejam robustos para os diversos
384 propósitos, podem também ser insensíveis a características importantes (Cianciaruso et al.,
385 2009). Nesse sentido, a inclusão de atributos ecológicos e/ou evolutivos em estudos de redes de
386 interação podem fornecer pistas sobre os mecanismos que estão envolvidos na estruturação da
387 comunidade (Cisneros et al., 2014). Nossos resultados confirmam isso mostrando que as redes
388 de interação morcegos-plantas sofrem influência distinta de diferentes índices da
389 biodiversidade, e que provavelmente essa distinção está relacionada à existência de poucas
390 espécies superabundantes, que interagem com um maior número de espécies de plantas.

391

392 **Declaração de ética:** os autores declaram que todos concordam com esta publicação e
393 que fizeram contribuições que justificam sua autoria; que não há conflito de interesse de
394 qualquer natureza; e que cumpriram todos os requisitos e procedimentos legais e éticos

395 relevantes. Todas as fontes de financiamento estão detalhadas de forma completa e clara na
396 seção de agradecimentos. O respectivo documento legal assinado encontra-se nos arquivos da
397 revista.

398

399

AGRADECIMENTOS

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

RESUMEN

410

Efectos de la diversidad (filogenética, funcional y taxonómica) de los murciélagos

411

frugívoros en la estructura de las redes ecológicas

412

413

Introducción: Las interacciones mutualistas entre murciélagos y plantas pueden organizarse

414

en redes complejas, y existen varias herramientas que permiten analizar la existencia de

415

patrones de interacción dentro de estas redes. Estos patrones están relacionados con la

416

diversidad de atributos e historias evolutivas dentro de una comunidad.

417

Objetivo: Seleccionamos 12 redes de interacciones planta-murciélago para determinar cómo

418

los índices de diversidad de murciélagos influyen en la estructura de la red.

419 **Métodos:** Se utilizaron índices de diversidad taxonómica, diversidad funcional y diversidad
420 filogenética, y como métricas de red se utilizaron: anidamiento, asimetría de fuerza de
421 interacción, asimetría de especialización, uniformidad de interacción y modularidad.

422 Ejecutamos modelos lineales entre índices de diversidad y métricas a nivel de red.

423 **Resultados:** se registraron 16 especies de murciélagos y 18 de plantas, conectadas por 264
424 interacciones. El modelo que contenía diversidad taxonómica explicó mejor la modularidad,
425 la diversidad funcional explicó la asimetría de la fuerza de interacción y la asimetría de
426 especialización fue explicada mejor por ambos. La asimetría de anidación y especialización
427 no se relacionó con ningún índice de diversidad.

428 **Conclusiones:** Nuestra hipótesis de que los índices de diversidad funcional de murciélagos
429 serían el mejor predictor de diversidad para las métricas de red fue parcialmente respaldada,
430 lo que sugiere que los índices de diversidad pueden afectar de manera diferente las
431 propiedades de la red de interacción.

432

433 **Palabras clave:** Anidamiento; Filogenia; Modularidad; Mutualismo; Rasgos funcionales.

REFERÊNCIAS

434

435 Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013).
436 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711 – 728.
437 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

438 Anderson, M.J., Ellingsen, K.E., & McArdle, B.H. (2006). Multivariate dispersion as a measure
439 of beta diversity. *Ecology Letters*, 9, 683-693. [https://doi.org/10.1111/j.1461-](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00926.x)
440 [0248.2006.00926.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00926.x)

441 Barton, K. (2009). Mu-MIn: Multi-model inference. R Package Version 0.12.2/r18. [http://R-](http://R-Forge.R-project.org/projects/mumin/)
442 [Forge.R-project.org/projects/mumin/](http://R-Forge.R-project.org/projects/mumin/)

443 Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., & Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant–
444 animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(16), 9383–
445 9387.

446 Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of
447 Biodiversity. - *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38, 567–593.

448 Bascompte, J., & Jordano, P. (2013). *Mutualistic Networks*. Princeton University Press, 2013.

449 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models
450 Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

451 Blomberg, S. P., Garland, T. Jr., & Ives, A. R. (2003). Testing for phylogenetic signal in
452 comparative data: behavioral traits are more labile. *Evolution* 57(4), 717-45.
453 <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2003.tb00285>

454 Blüthgen, N., Menzel, F., Hovestadt, T., Fiala, B., & Blüthgen, N. (2007). Specialization,
455 constraints and conflicting interests in mutualistic networks. *Current Biology* 17, 1–6.

456 Bredt, A., Uieda, W., & Pedro, W. A. (2012). *Plantas e morcegos na recuperação de áreas*
457 *degradadas e na paisagem urbana*. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 275 p.

458 Breusch, T., & Pagan, A. (1979). Teste simples para heterocedasticidade e coeficiente de
459 variação aleatória econométrica. *Sociedade Econométrica* 47, 1287-1294.

- 460 Burnham, K.P., & Anderson, D.R. (2002). *Model Selection and Inference: A Practical*
461 *Information-Theoretic Approach*. 2nd Edition, Springer-Verlag, New York.
462 <http://dx.doi.org/10.1007/b97636>
- 463 Chamberlain, S. A., & Holland, J. N. (2009). Body size predicts degree in ant–plant mutualistic
464 networks. *Functional Ecology* 23, 196-202. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01472.x>
- 465 Cianciaruso, M. V., Silva, I. A., & Batalha, M. A. (2009). Diversidades filogenética e
466 funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica* 9 (3), 93-103.
467 <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>
- 468 Cisneros, L. M., Fagan, M. E., & Willig, M. R. (2014). Effects of human-modified landscapes
469 on taxonomic, functional and phylogenetic dimensions of bat biodiversity. *Diversity and*
470 *Distribution* 21, 523-533. <https://doi.org/10.1111/ddi.12277>
- 471 Diaz, M. M., Solari, S., Aguirre, L. F., Aguiar, L. M. S., & Barquez, R. M. (2016). *Clave de*
472 *identificación de los murciélagos de Sudamérica. Publicación Especial n°2*, PCMA (Programa
473 de Conservación de los Murciélagos de Argentina). 160 pp.
- 474 Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Gudrun, C. G., García Marquéz, J. R.,
475 Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P. E.,
476 Björn, R., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D., & Lautenbach, S. (2012). Collinearity: a
477 review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance.
478 *Ecography* 35, 001–020. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- 479 Dormann, C. F., Gruber B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite package: analysing
480 ecological networks. *R News* 8, 8–11.
- 481 Durbin, J., & Watson. G. S. (1950). Teste de correlação serial em Mínimos Quadrados de
482 Regressão I. *Biometrika* 37, 409-428.
- 483 Faith, D. P. (2013). Biodiversity and evolutionary history: Useful extensions of the PD
484 phylogenetic diversity assessment framework. *Annals of the New York Academy of Science*
485 1289, 69–89. <https://doi.org/10.1111/nyas.12186>

- 486 Farneda, F. Z., Meyer, C. F., & Grelle, C. E. (2020). Effects of land-use change on functional
487 and taxonomic diversity of Neotropical bats. *Biotropica* 52, 120–128.
488 <https://doi.org/10.1111/btp.12736>
- 489 Fleming, T. H., & Kress, W. J. (2013). *The ornaments of life: coevolution and conservation in*
490 *the tropics*. University of Chicago Press, Chicago, 588 pp.
- 491 Gaiarsa, M.P., & Guimarães, P.R. (2019). Interaction strength promotes robustness against
492 cascading effects in mutualistic networks. *Scientific Report* 9, 676.
493 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35803-8>
- 494 García-Morales, R., Moreno, C. E., Badano, E. I., Zuria, I., Galindo-González, J., Rojas-
495 Martínez, A. E., et al. (2016). Deforestation Impacts on Bat Functional Diversity in Tropical
496 Landscapes. *PLoS ONE* 11 (12), e0166765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166765>
- 497 Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-
498 statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism* 10 (2), 486-489.
499 <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- 500 Gonçalves, F., Fischer, E., & Dirzo, R. (2017). Forest conversion to cattle ranching
501 differentially affects taxonomic and functional groups of Neotropical bats. *Biological*
502 *Conservation* 210, 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.021>
- 503 Helmus, M. R., Bland T. J., Williams, C. K., & Ives, A. R. (2007). Phylogenetic measures of
504 biodiversity. *American Naturalist* 169, 68–83.
- 505 Helmus, M. R., & Ives, A. R. (2012). Phylogenetic diversity–area curves. *Ecology* 93, 31-
506 43. <https://doi.org/10.1890/11-0435.1>
- 507 Jordano, P., Bascompte, J., & Olesen, J. M. (2003). Invariant properties in coevolutionary
508 networks of plant–animal interactions. *Ecology Letters* 6, 69–81.
- 509 Kaiser-Bunbury, C. N., & Blüthgen, N. (2015). Integrating network ecology with applied
510 conservation: a synthesis and guide to implementation. *AoB PLANTS* 7,
511 plv076. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv076>

- 512 Kembel, S.W., Cowan, P. D., Helmus, M. R., Cornwell, W. K., Morlon, H., Ackerly, D. D.,
513 Blomberg, S. P., & Webb, C. O. (2010). Picante: {R} tools for integrating phylogenies and
514 ecology. *Bioinformatics* 26, 1463–1464.
- 515 Krasnov, B. R., Mouillot, D., Khokhlova, I. S., Shenbrot, G. I., & Poulin, R. (2012).
516 Compositional and phylogenetic dissimilarity of host communities drives compositional and
517 phylogenetic dissimilarity of ectoparasite assemblages: geographic variation and scale-
518 dependence. *Parasitology* 139, 338–347.
- 519 Kuhlmann, M. (2018). *Frutos E Sementes Do Cerrado Atrativos Para a Fauna: Guia de*
520 *Campo*. Col. Christopher W. Fagg. Rede de Sementes do Cerrado, Brasília. 464 pp.
- 521 Kunz, T. H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., & Fleming, T. H. (2011). Ecosystem
522 services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223, 1-
523 38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>
- 524 Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional
525 diversity from multiple traits. *Ecology* 91, 299–305.
- 526 Laliberté, E., Legendre P., & Shipley B. (2014). FD: Measuring Functional Diversity From
527 Multiple Traits, and Other Tools for Functional Ecology. R package version 1.0-12.
528 <https://cran.r-project.org/web/packages/FD>
- 529 Laurindo, R. S., Vizentin-Bugoni, J., Tavares, D. C. et al. (2020). Drivers of bat roles in
530 Neotropical seed dispersal networks: abundance is more important than functional
531 traits. *Oecologia* 193, 189–198.
- 532 Laurindo, R. S., Novaes, R. L. M., Vicentin-Bugoni, J., & Gregorin, R. (2019). The effects of
533 habitat loss on bat-fruit networks. *Biodiversity and Conservation* 29 (3), 589-601.
- 534 Lewinsohn, T. M., Inácio Prado, P., Jordano, P., Bascompte, J., & Olesen, J. M. (2006),
535 Structure in plant–animal interaction assemblages. *Oikos*, 113, 174-
536 184. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2006.14583.x>
- 537 Lima, I. P., Nogueira, M. R., Monteiro, L. R., & Peracchi, A. L. (2016).
538 Frugivoria e dispersão de sementes por morcegos na Reserva Natural Vale, sudeste do Brasil.
539 In Rolim, S.G., Menezes, L.F.T.; Srbek-Araújo, A.C. (eds.). *Floresta Atlântica de Tabuleiro:*

- 540 *diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale* (pp. 433-452). Editora Rupestre, Espírito
541 Santo.
- 542 Lobova, T. A., Geiselman, C. K., & Mori, S. A. (2009). *Seed dispersal by bats in the Neotropics*.
543 New York: New York Botanical Garden Press.
- 544 Lorenzi, H. (1992). *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas*
545 *arbóreas nativas do Brasil*. Editora Plantarum, Nova Odessa. 368 pp.
- 546 Lorenzi, H. (1998). *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas*
547 *arbóreas nativas do Brasil*. Vol. 2. Editora Plantarum, Nova Odessa. 384 pp.
- 548 Lorenzi, H. (2009). *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas*
549 *arbóreas nativas do Brasil*. Vol. 3. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa. 385
550 pp.
- 551 Lüdtke, D. (2018). ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models.
552 *Journal of Open Source Software* 3 (26), 772. <https://doi.org/10.21105/joss.00772>
- 553 Maglianesi, M. A., Blüthgen, N., Böhning-Gaese, K., & Schleuning,
554 M. (2014). Morphological traits determine specialization and resource use in plant-
555 hummingbird networks in the Neotropics. *Ecology* 95, 3325-3334. <https://doi.org/10.1890/13->
556 [2261.1](https://doi.org/10.1890/13-2261.1)
- 557 Mangiafico, S. (2021). rcompanion: Functions to Support Extension Education Program
558 Evaluation. R package version 2.4.1 <https://CRAN.R-project.org/package=rcompanion>
- 559 Mason, N. W. H., Mouillot, D., Lee, W. G., & Wilson, J. B. (2005). Functional richness,
560 functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity.
561 *Oikos* 111, 112-118. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13886.x>
- 562 Maruyama, P. K., Sonne, J., Vizentin-Bugoni, J., et al. (2018). Functional diversity mediates
563 macroecological variation in plant-hummingbird interaction networks. *Global Ecology and*
564 *Biogeography* 27, 1186– 1199. <https://doi.org/10.1111/geb.12776>
- 565 Mello, R. M., Laurindo, R. S., Silva, L. C., Pyles, M. V., Mancini, M. C. S., Dáttilo, W., &
566 Gregorin, R. (2021). Landscape configuration and composition shape mutualistic and

- 567 antagonistic interactions among plants, bats, and ectoparasites in human-dominated tropical
568 rainforests. *Acta Oecologica* 112, 103769, <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103769>
- 569 Mello, M. A. R., Marquitti, F. M. D., Guimarães, P. R. Jr., Kalko, E. K. V., Jordano P., de
570 Aguiar, M. A. M. (2011). The Missing Part of Seed Dispersal Networks: Structure and
571 Robustness of Bat-Fruit Interactions. *PLoS ONE* 6 (2), e17395.
572 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017395>
- 573 Mello, R. M., Nobre, P. H., Manhães, M. A., & Rodrigues, A. S. (2016). Phyllostomidae
574 assemblage (Chiroptera: Mammalia) in altitudinal forests at the Parque Estadual do Ibitipoca,
575 Southeast of Minas Gerais, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia* 106, e2016021.
576 <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2016021>
- 577 Menegasse, L. N., Gonçalves, J. M., & Fantinel, L.M. (2002). Disponibilidade hídricas na
578 Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil.
579 *Revista Águas Subterrâneas* 16, 1-19.
- 580 Minoarivelo, H. O., & Hui, C. (2016). Trait-mediated interaction leads to structural
581 emergence in mutualistic networks. *Evolutionary Ecology* 30, 105–121
- 582 Montoya-Arango, S., Acevedo-Quintero, J. F., & Parra, J. L. (2019). Abundance and size of
583 birds determine the position of the species in plant– frugivore interaction networks in
584 fragmented forests. *Community Ecology* 20, 75–82. <https://doi.org/10.1556/168.2019.20.1.8>
- 585 Naimi, B., Hamm, N. A., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is
586 positional uncertainty a problem for species distribution modelling. *Ecography*, 37, 191-203.
587 <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>.
- 588 Nimer, E. (1989). *Climatologia do Brasil*, v. 2. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de
589 Geografia e Estatística.
- 590 Nogueira, M. R., Peracchi, A. L., & Monteiro, L. R. (2009). Morphological correlates of bite
591 force and diet in the skull and mandible of phyllostomid bats. *Functional Ecology* 23, 715–
592 723. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01549.x>

- 593 Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., O'hara, R. G., Simpson, G. L., Solymos,
594 P., Stevens, M. H. H., & Wagner, H. (2020). The vegan package. Community ecology
595 package. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan>
- 596 Olesen, J. M., Stefanescu, C., & Traveset, A. (2011). Strong, long-term temporal dynamics of
597 an ecological network. *PLoS One* 6, e26455 <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0026455>
- 598 Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y. L., & Jordano, P. (2007). The modularity of
599 pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(50), 19891–19896.
- 600 Oliveira, E. G., Ferreira, M. E., & Araújo, F. M. D. (2012). Diagnostic of the land use in the
601 Midwest region of Minas Gerais, Brazil: the renewal of the landscape by the sugarcane crops
602 and its social and environmental impacts. *Sociedade & Natureza* 24, 545-555.
- 603 Paradis, E. (2012) *Analysis of Phylogenetics and Evolution with R* (Second Edition). New York:
604 Springer
- 605 Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2002), Functional diversity (FD), species richness and
606 community composition. *Ecology Letters* 5, 402-411. [https://doi.org/10.1046/j.1461-](https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x)
607 [0248.2002.00339.x](https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x)
- 608 Pielou, E. C. (1967). The use of information theory in the study of the diversity of biological
609 pollutions, *Proc. 5th Berkeley symposium Mathematics Statistics and probability* 4, 163-177.
- 610 Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., & Sarkar D. (2022). nlme: Linear and Nonlinear Mixed
611 Effects Models. R package version 3.1-155, <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- 612 R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna,
613 Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- 614 Rezende, E. L., Jordano, P., & Bascompte, J. (2007). Effects of phenotypic complementarity
615 and phylogeny on the nested structure of mutualistic networks. *Oikos* 116, 1919-
616 1929. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.16029.x>
- 617 Rohr, R. P., Saavedra, S., & Bascompte, J. (2014). On the structural stability of mutualistic
618 systems. *Science* 345, 1253497. <https://doi.org/10.1126/science.1253497>

- 619 Sano, E. E., Rosa, R., Brito, J. L., & Ferreira, L. G. (2010). Land cover mapping of the
620 tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 166, 113-124.
- 621 Schlautmann, J., Rehling, F., Albrecht, J., Jaroszewicz, B., Schabo, D. G., & Farwig, N. (2021).
622 Observing frugivores or collecting scats: a method comparison to construct quantitative seed
623 dispersal networks. *Oikos* 130, 1359-1369. <https://doi.org/10.1111/oik.08175>
- 624 Schleuning, M., Ingmann, L., Strauß, R., Fritz, S. A., Dalsgaard, B., Dehling, D. M., Plein,
625 M., Saavedra, F., Sandel, B., Svenning, J., Böhning-Gaese, K., & Dormann, C. F. (2014).
626 Ecological, historical and evolutionary determinants of modularity in weighted seed-dispersal
627 networks. *Ecology Letters* 17, 454-463. <https://doi.org/10.1111/ele.12245>
- 628 Sebastián-González, E., Dalsgaard, B., Sandel, B., & Guimarães, P. R. Jr. (2015).
629 Macroecological trends in seed-dispersal networks. *Global Ecology and Biogeography* 24, 293-
630 303. <https://doi.org/10.1111/geb.12270>
- 631 Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*
632 52(3/4), 591-611.
- 633 Shi, J. J., & Rabosky, D. L. (2015). Speciation dynamics during the global radiation of extant
634 bats. *Evolution* 69, 1528-1545. <https://doi.org/10.1111/evo.12681>
- 635 Sikes, R. S., & the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists.
636 (2016). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in
637 research and education. *Journal of Mammalogy* 97, 663-688.
- 638 Silva, A., Maruyama, P., Paniago, L., & Melo, C. (2016). Modularity in ecological networks
639 between frugivorous birds and congeneric plant species. *Journal of Tropical Ecology* 32(6),
640 526-535. <https://doi.org/10.1017/S0266467416000444>
- 641 Speakman, J.R., & Racey, P.A. (1986). The influence of body condition on sexual development
642 of male Brown long-eared bats (*Plecotus auritus*) in the wild. *Journal of Zoology* 210, 515-
643 525. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1986.tb03653.x>
- 644 Stang, M., Klinkhamer, P. G. L., Waser, N. M., Stang, I., & van der Meijden, E. (2009). Size-
645 specific interaction patterns and size matching in a plant–pollinator interaction web. *Annals of*
646 *Botany* 103(9), 1459–1469, <https://doi.org/10.1093/aob/mcp027>

- 647 Tavares, D. C., Guadagnin, D. L., Moura, J. F., Siciliano, S., & Merico, A. (2015).
648 Environmental and anthropogenic factors structuring waterbird habitats of tropical coastal
649 lagoons: implications for management. *Biological Conservation* 186, 12–21.
650 <https://doi.org/10.1016/j.bioco.2015.02.027>
- 651 Tavares, D. C., Moura, J. F., & Siciliano, S. (2016). Environmental predictors of seabird wrecks
652 in a tropical coastal area. *PLoS ONE* 11, e0168717.
653 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168717>
- 654 Thébault, E., & Fontaine, C. (2010). Stability of ecological communities and the architecture
655 of mutualistic and trophic networks. *Science* 329(5993), 853–856.
656 <https://doi.org/10.1126/science.1188321>
- 657 Thompson, J.N. (2005). Coevolution: The Geographic Mosaic of Coevolutionary Arms Races.
658 *Current Biology* 15, 992–994. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2005.11.046>
- 659 Tilman, D. (2001). *Functional diversity*. In *Encyclopedia of Biodiversity* (S.A. Levin, ed.).
660 Academic Press, San Diego, p. 109–120. <https://doi.org/10.1006/rwbd.1999.0154>
- 661 Ulrich, W., Almeida-Neto, M., & Gotelli, N. J. (2009). A consumer's guide to nestedness
662 analysis. *Oikos* 118, 3–17
- 663 Vázquez, D. P., Blüthgen, N., Cagnolo, L., & Chacoff, N. P. (2009). Uniting pattern and process
664 in plant–animal mutualistic networks: a review, *Annals of Botany* 103(9), 1445–
665 1457. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp057>
- 666 Vázquez, D. P., Melián, C. J., Williams, N. M., Blüthgen, N., Krasnov, B. R. & Poulin, R.
667 (2007). Species abundance and asymmetric interaction strength in ecological networks. *Oikos*
668 116, 1120–1127.
- 669 Vázquez, D. P., & Aizen, M. A. (2004). Asymmetric Specialisation: A Pervasive Feature of
670 Plant–Pollinator Interactions. *Ecology*, 85, 1251–1257.
671 <http://dx.doi.org/10.1890/03-3112>
- 672 Velasquez-Roa, T., & Murillo-García, O. E. (2019). Influence of bat morphology on structural
673 properties of a plant–frugivore network. *Mastozoología Neotropical* 26(2), 440–451.

- 674 Venables, W.N., & Ripley, B.D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Springer, New York,
675 271-300.
676 <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
- 677 Villéger, S., Mason, N. W. H., & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional
678 diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89, 2290-
679 2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- 680 Xi, X., Yang, Y., Tylianakis, J.M., Yang, S., Dong, Y., & Sun, S. (2020). Asymmetric
681 interactions of seed-predation network contribute to rare-species advantage. *Ecology* 101(7),
682 e03050. <https://doi.org/10.1002/ecy.3050>
- 683 Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G.M. (2007). *Analysing Ecological Data*. Springer, New
684 York.
- 685 Zuur, A. F. (2009). *Mixed effects models and extensions in Ecology with R*. - Springer.
- 686 Zuur, A. F., Ieno, E. N., and Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid
687 common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1, 3-
688 14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>
- 689 Wei, T., & Simko, V. (2021). R package ‘corrplot’: Visualization of a Correlation Matrix
690 (Version 0.90). Available online at: <https://github.com/taiyun/corrplot>
- 691 Winfree, R., Williams, N. M., Dushoff, J., & Kremen, C. (2014). Species abundance, not diet
692 breadth, drives the persistence of the most linked pollinators as plant-pollinator networks
693 disassemble. *American Naturalist* 183, 600–611.

694 MATERIAL SUPLEMENTAR

695

696 **Efeitos da diversidade (filogenética, funcional e taxonômica) dos morcegos frugívoros na**
697 **estrutura de redes ecológicas**

698

699 *Sebastião Maximiano Corrêa Genelhú¹², Rafael de Souza Laurindo³, Arthur Setsuo Tahara¹²,
700 Letícia Langsdorff Oliveira¹, Renato Gregorin¹⁴

701

702 1 - Laboratório de Diversidade e Sistemática de Mamíferos, Universidade Federal de Lavras
703 (UFLA) Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

704 2 - Programa de Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade
705 Federal de Lavras (UFLA) Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil;

706 3 – Instituto Sul Mineiro de Estudos e Conservação da Natureza (ISMECN), Campo Belo
707 (MG), Brasil;

708 4 - Departamento de Biologia e Centro de Biodiversidade e Genética da Universidade Federal
709 de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Brazil.

710 * Corresponding author. Email: sebastiao Genelhum@gmail.com

711

712

TABELA 1

713

Descrição dos dados das redes utilizadas neste estudo. WC = Conectividade ponderada, WN = Aninhamento ponderado, ISA = Assimetria de

714

força de interação, SA = Assimetria de especialização, LD = Densidade de ligações, IE = Uniformidade de interação, Sha = Diversidade de

715

Shannon, Alat = Equilíbrio de interação de Alatalo, H2 = Especialização, Mod = Modularidade, Nulo = valores médios dos modelos nulos.

716

Rede	WC	Nulo	WN	Nulo	ISA	Nulo	SA	Nulo	LD	Nulo	IE	Nulo	Sha	Nulo	Alat	Nulo	H2	Nulo	Mod	Nulo
1	0.2321796	0.247299 3	9,259	16,26 6	0.7575758	0.5688535	-	-0.3869592	2,55 3	2,72 0	0.614229 6	0.624888 4	2,04 6	2,08 2	0.8508343	0.855582 4	0,5	0.4526928	0.324218 8	0.3298437
2	0.1462027	0.174800 9	0	11,84 2	0.4336735	0.5326274	-	-0.335548	2,04 6	2,44 7	0.567918 3	0.591674 3	2,16 1	2,25 2	0.8054079	0.828026 4	0.911473 7	0.702781	0.572485 2	0.4783905
3	0.1902508	0.192734 4	14,13 0	7,246	-	0.0601164 6	-0.241725	-0.222282	2,66 3	2,69 8	0.680011 2	0.677206 6	2,58 8	2,57 7	0.9394393	0.921109 7	0.29463	0.2992542	0.460207 6	0.4641592
4	0.272698	0.271476 4	14,58 3	14,85 4	0.1166667	0.1541366	-0.211972	-0.3320153	2,72 6	2,71 4	0.724448 1	0.726683 6	2,20 5	2,21 2	0.8874381	0.896858 4	0.351959	0.3506509	0.387755 1	0.3525408
5	0.2207916	0.263253 1	0	14,59 3	0.0666667	0.2853635	0.3660213	-0.3754448	2,20 7	2,63 2	0.639159 3	0.687797 3	1,94 5	2,09 4	0.686849	0.881941 3	0.631497 8	0.4146256	0.414201 2	0.3596568
6	0.2043759	0.209461 9	22,10 8	22,72 4	0.2755411	0.1898983	0.3155118	-0.1403771	3,06 5	3,14 1	0.633410 4	0.643696 5	2,54 9	2,59 1	0.7892557	0.819237 7	0.315090 9	0.2918342	0.349489 8	0.3474362
7	0.2348956	0.250911 9	28,26 0	26,53 8	0.3632155	0.5761249	0.4376996	-0.3791307	3,28 8	3,51 2	0.590672 8	0.603015 8	2,24 8	2,29 5	0.7347151	0.772449 3	0.409061 9	0.315305	0.206035 4	0.2267846
8	0.1420328	0.180619 9	2,040	15,36 1	0.1060606	0.1542486	0.1377888	-0.121387	2,13 0	2,70 9	0.603016 3	0.634226 8	2,42 7	2,55 2	0.701327	0.844613 1	0.651227 4	0.4193364	0.528106 5	0.4283935
9	0.1834744	0.212137 7	15	21,86 5	0.04166667	0.1772157	0.1391944	0.08669131	1,83 4	2,12 5	0.521674 2	0.587094 8	1,67 9	1,88 9	0.7441111	0.800717 3	0.658760 3	0.4508405	0.4	0.3732889
10	0.1262773	0.178440 3	9,677	8,789	0	0.1587425	-0.165915	-0.1549686	1,51 5	2,14 1	0.517332 4	0.606848 9	1,83 9	2,15 7	0.7234487	0.888402 6	0.808215 9	0.4967613	0.627218 9	0.5186746
11	0.1675272	0.189324 7	18,61 7	25,38 0	0.1740213	0.2472867	0.2682333	-0.248536	3,35 0	3,78 6	0.595751 1	0.614467 4	2,71 9	2,80 4	0.6444476	0.745959 9	0.478286 3	0.3348138	0.42399	0.3203315
12	0.0990282	0.144072 8	0	5,670	-0.125	-0.1988665	0.1815153	0.181324	1,48 5	2,16 1	0.521296	0.598124 9	2,07 9	2,38 5	0.7714286	0.893842	0.888888 9	0.517007	0.6875	0.5970156

717

718

TABELA 2

719

Matrix de interação para a Rede 01

Gruta_do_Brega	<i>Ficus_aff_gome lleira</i>	<i>Gurania_lo bata</i>	<i>Piper_amal ago</i>	<i>Piper_sp _1</i>	<i>Piper_umbell atum</i>	<i>Psidium_s pp.</i>	<i>Solanum_panicu latum</i>
<i>Artibeus_fimbria tus</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Artibeus_planiro stris</i>	1	1	0	0	0	0	0
<i>Carollia_perspici latta</i>	0	3	4	1	2	0	2
<i>Glossophaga_so ricina</i>	0	0	0	1	0	0	0

720

721

TABELA 3

722

Matrix de interação para a Rede 02

Gruta_da_cor uja	<i>Ficus_aff_go melleira</i>	<i>Ficus_s p_02</i>	<i>Ficus_s p_01</i>	<i>Gurania_l obata</i>	<i>Piper_am alago</i>	<i>Piper_s p_1</i>	<i>Piper_umbe llatum</i>	<i>Psidium _spp.</i>	<i>Solanum _spp.</i>
<i>Artibeus_plan irostris</i>	4	1	6	0	0	0	0	2	0
<i>Carollia_brev icauda</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Carollia_pers picilatta</i>	0	0	0	0	5	1	1	0	2
<i>Platyrrhinus_l ineatus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sturnira_liliu m</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0

723

724

TABELA 4

725

Matrix de interação para a Rede 03

Gruta_do_Da vi	<i>Cecropia_pac hystachya</i>	<i>Ficus_s p_01</i>	<i>Gurania_ lobata</i>	<i>Maclura_ti nctoria</i>	<i>Piper_a malago</i>	<i>Piper_ sp_1</i>	<i>Psidium _spp.</i>	<i>Solanum_pan iculatum</i>	<i>Vismia _spp.</i>
<i>Artibeus_plan irostris</i>	0	0	1	0	0	1	2	0	0
<i>Carollia_pers picilatta</i>	0	2	1	1	1	0	0	1	0
<i>Glossophaga_ soricina</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Miconycteris _microtis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Platyrrhinus_ lineatus</i>	1	2	0	0	0	0	0	0	1

726

727

TABELA 5

728

Matrix de interação para a Rede 04

Fazenda_Faroest e	<i>Cecropia_glaz iovii</i>	<i>Cordia_ses silis</i>	<i>Ficus_aff_gomel leira</i>	<i>Gurania_lo bata</i>	<i>Piper_amal ago</i>	<i>Piper.sp. _1</i>	<i>Psidium_s pp.</i>
<i>Artibeus_planiro stris</i>	0	0	3	2	0	0	0
<i>Carollia_perspici latta</i>	2	0	1	1	1	1	1
<i>Glossophaga_sor icina</i>	1	1	0	0	0	0	0

729

730

TABELA 6

731

Matrix de interação para a Rede 05

Gruta_Arco_do_I ndio	<i>Cecropia_glazi ovii</i>	<i>Ficus_sp._ 01</i>	<i>Maclura_tinct oria</i>	<i>Piper_amala go</i>	<i>Piper_sp. _1</i>	<i>Psidium_s pp.</i>	<i>Solanum_sp. _02</i>
<i>Artibeus_planirostris</i>	1	5	0	1	0	1	0
<i>Carollia_brevicauda</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Carollia_perspicilatta</i>	0	0	1	1	1	0	1

732

733

TABELA 7

734

Matrix de interação para a Rede 06

Gruta_do_Ma stodonte	<i>Cecropia_gl aziovii</i>	<i>Cecropia_pach ystachya</i>	<i>Ficus_s p._01</i>	<i>Gurania_l obata</i>	<i>Piper_am alago</i>	<i>Piper_s p._1</i>	<i>Piper_umbe llatum</i>	<i>Solanum_ame ricanum</i>
<i>Artibeus_fimbriatus</i>	0	2	1	1	0	0	0	0
<i>Artibeus_planirostris</i>	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Carollia_perspicilatta</i>	4	0	0	4	5	2	1	1
<i>Chiroderma_doriae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Chiroderma_villosum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Glossophaga_soricina</i>	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Platyrrhinus_l ineatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0

735

736

TABELA 8

737

Matrix de interação para a Rede 07

Gruta_do_Nad inho	<i>Cordia_s essilis</i>	<i>Ficus_aff._go melleira</i>	<i>Ficus_s p._01</i>	<i>Gurania_l obata</i>	<i>Miconia _spp.</i>	<i>Piper_s p._1</i>	<i>Psidium _spp.</i>	<i>Solanum_s sp._02</i>	<i>Vismia _spp.</i>
<i>Artibeus_planirostris</i>	3	8	3	2	1	1	0	6	1
<i>Glossophaga_soricina</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Phyllostomus_hastatus</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Platyrrhinus_l ineatus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sturnira_liliu m</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0

738

739

740

741

742

743

744

745
746
747

TABELA 9
Matrix de interação para a Rede 08

Gruta_Olhos_da_agua	<i>Ficus_sp._02</i>	<i>Ficus_sp._01</i>	<i>Gurania_lobata</i>	<i>Maclura_tinctoria</i>	<i>Piper_ama-lago</i>	<i>Piper_umbellatum</i>	<i>Psidium_spp.</i>	<i>Solanum_spp._02</i>
<i>Artibeus_planirostris</i>	7	1	0	0	0	0	3	1
<i>Carollia_brevicauda</i>	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Carollia_perspicilatta</i>	0	0	0	1	1	0	0	1
<i>Chiroderma_villosum</i>	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Glossophaga_soricina</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Platyrrhinus_lineatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Sturnira_lilium</i>	0	0	3	0	0	1	0	1

748
749
750

TABELA 10
Matrix de interação para a Rede 09

Gruta_da_Paca	<i>Gurania_lobata</i>	<i>Maclura_tinctoria</i>	<i>Piper_amalago</i>	<i>Piper_sp._1</i>	<i>Psidium_spp.</i>
<i>Anoura_caudifer</i>	0	0	0	0	1
<i>Artibeus_fimbriatus</i>	1	0	0	0	0
<i>Carollia_perspicilatta</i>	3	1	6	0	0
<i>Glossophaga_soricina</i>	0	0	0	1	0
<i>Sturnira_lilium</i>	2	0	0	0	0

751
752
753

TABELA 11
Matrix de interação para a Rede 10

Vale_Santo_Antonio	<i>Ficus_aff._gomeleira</i>	<i>Gurania_lobata</i>	<i>Piper_sp._01</i>	<i>Piper_umbellatum</i>	<i>Psidium_spp.</i>	<i>Solanum_americanum</i>	<i>Solanum_spp._02</i>
<i>Artibeus_planirostris</i>	2	0	0	0	1	0	1
<i>Carollia_perspicilatta</i>	0	5	0	1	0	0	0
<i>Glossophaga_soricina</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>Platyrrhinus_lineatus</i>	1	0	0	0	0	0	0
<i>Sturnira_lilium</i>	0	0	0	0	0	1	0

754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765

766
767
768

TABELA 12
Matrix de interação para a Rede 11

Loca_do_Sumidouro	<i>Ficus_aff_gomelleira</i>	<i>Ficus_sp_01</i>	<i>Gurania_lobata</i>	<i>Maclura_tinctoria</i>	<i>Piper_amalago</i>	<i>Piper_sp_01</i>	<i>Piper_umbellatum</i>	<i>Psidium_spp.</i>	<i>Solanum_americanum</i>	<i>Solanum_paniculatum</i>	<i>Solanum_sp_02</i>	<i>Vismia_spp.</i>
<i>Artibeus_fimbriatus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Artibeus_lituratus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Artibeus_planirostris</i>	3	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Carollia_perspicillata</i>	0	2	1	0	12	0	5	1	4	2	1	1
<i>Chiroderma_villosum</i>	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Glossophaga_soricina</i>	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Platyrrhinus_lineatus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sturnira_lilium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

769
770
771

TABELA 13
Matrix de interação para a Rede 12

Gruta_do_Zizinho	<i>Ficus_aff_gomelleira</i>	<i>Gurania_lobata</i>	<i>Miconia_spp.</i>	<i>Piper_amalago</i>	<i>Psidium_spp.</i>	<i>Solanum_spp.</i>
<i>Anoura_caudifer</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Artibeus_fimbriatus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Artibeus_lituratus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Artibeus_planirostris</i>	4	0	0	0	0	0
<i>Carollia_brevicauda</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Carollia_perspicillata</i>	0	0	0	4	0	0
<i>Phyllostomus_discolor</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Platyrrhinus_lineatus</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Vampyressa_pusilla</i>	1	0	0	0	0	0

772
773
774
775
776

TABELA 14

777 Apresentação das métricas utilizadas para entender as redes de interações, seguida de suas
778 definições e a referência sobre sua criação e utilização.

Métrica	Definição	Referência
Aninhamento (weighted NODF)	Tipo de topologia em uma rede bipartida, na qual as conexões dos vértices de menor grau representam um subconjunto das conexões dos vértices de maior grau.	Almeida Neto & Ulrich, 2011
Conectância (weighted connectance)	Proporção de interações estabelecidas na rede em relação ao número de interações que seriam possíveis.	Gotelli & Graves, 1996; Dunne et al., 2002
Assimetria de força de interação	Quantifica se espécies especializadas interagem com espécies generalizadas no outro nível (ou vice-versa).	Blüthgen et al., 2007
Assimetria de especialização	Seguindo a mesma ideia da anterior, mas esta baseada na especialização de espécies	Bascompte et al., 2006
Densidade de ligações	Diversidade marginal ponderada por totais de interações por espécie.	Bersier et al., 2002
Uniformidade de interação	Quantifica o quão equilibrada é a distribuição de interações entre as espécies, com base na diversidade de Shannon.	Tylianakis et al., 2007
Equilíbrio de interação de Alatalo	Medida alternativa de uniformidade de interação, tentando superar algumas das deficiências da versão anterior de Shannon.	Müller et al., 1999
Diversidade de Shannon	Medida sobre a composição da comunidade que leva em consideração as abundâncias relativas de diferentes espécies.	Tylianakis et al., 2007
Especialização	Nível de especialização de um vértice em uma rede ecológica bipartida, representando o quanto os conjuntos de interações dos vértices são diferentes entre si.	Blüthgen et al., 2006
Modularidade	Espécies formam subconjuntos (módulos) que são mais propensos a interagir entre si do que entre subconjuntos.	Bascompte et al. 2003

779

780

781

782

783

784

785

TABELA 15

786

Tabela com valores de VIF (Variance Inflation Factor), que mede a gravidade da

787

multicolinearidade na análise de regressão.

Variável	VIF
Shannon	2,57
Pielou	2,40
PSV	1,83
PSE	2,82
FDis	1,88
Feve	1,80

788

789

790

TABELA 16

791

Valores dos modelos ajustados e de importância das preditoras nas métricas das redes de

792

interação Morcego-Planta para a região estudada.

Modularidade	Estimate	S.error	T valor	CI 25%	CI 97,5%	Importance	P valor
Intercepto	4.7359	2.7600	1.716	-0.6735	10.1453		0.1468
Shannon	0.8880	0.8706	1.020	-0.81831	2.5942	0,39	0.3545
Pielou	3.0892	2.1846	1.414	-1.19260	7.3710	0,12	0.2165
PSV	-5.6520	3.8563	-1.466	-13.2101	1.9061	0,34	0.2026
PSE	0.6378	2.4485	0.260	-4.1612	5.4367	0,18	0.8049
Fdis	-5.8774	7.1844	-0.818	-19.9585	8.2037	0,09	0.4505
Feve	-4.3679	2.0412	-2.140	-8.36851	-0.3672	0,22	0.0853
Aninhamento	Estimate	S.error	T valeu	CI 25%	CI 97,5%	Importance	P valor
Intercepto	-2.7004	4.04	-0.668	-10.6205	5.21969		0.5336
Shannon	-2.8463	1.27	-2.233	-5.3445	-0.34805	0,32	0.0759
Pielou	-3.5749	3.20	-1.118	-9.8440	2.69422	0,09	0.3145
PSV	-0.1163	5.65	-0.021	-11.18235	10.94982	0,25	0.9844
PSE	6.09	3.58	1.700	-0.93291	13.1197	0,20	0.1499
Fdis	13.65	10.52	1.298	-6.9681	34.26505	0,14	0.2511
Feve	4.89	2.99	1.638	-0.9629	10.7519	0,11	0.1624
ISA	Estimate	S.error	T valeu	CI 25%	CI 97,5%	Importance	P valor
Intercepto	0.76	2.71	0.281	-4.5559	6.0818		0.790
Shannon	0.00	0.86	-0.003	-1.6805	1.6749	0,09	0.997
Pielou	1.48	2.15	0.688	-2.7316	5.6886	0,19	0.522
PSV	-4.16	3.79	-1.096	-11.5881	3.2751	0,29	0.323
PSE	-0.64	2.41	-0.267	-5.3615	4.0757	0,09	0.800
Fdis	1.01	7.06	0.143	-12.837	14.8532	0,09	0.892
Feve	1.92	2.01	0.956	-2.0156	5.8517	0,51	0.383

Interaction evenness	Estimate	S.error	T value	CI 25%	CI 97,5%	Importance	P valor
Intercepto	-7.35	6.33	-1.161	-19.755	5.0577		0.298
Shannon	-1.16	2.00	-0.583	-5.0782	2.74853	0,152	0.585
Pielou	-5.14	5.01	-1.027	-14.9645	4.6761	0,109	0.352
PSV	6.32	8.84	0.714	-11.0189	23.650	0,219	0.507
PSE	3.14	5.62	0.559	-7.865	14.147	0,104	0.600
Fdis	2.93	16.48	0.178	-29.3662	35.223	0,104	0.866
Feve	6.58	4.68	1.406	-2.5944	15.756	0,182	0.219

793

794

795

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

796 Almeida-Neto, M., & Ulrich, W. (2011). A straightforward computational approach for
797 measuring nestedness using quantitative matrices. *Environmental Modelling & Software*, 26,
798 173–178.

799 Bascompte, J., Jordano, P., & Olesen, J. M. (2006). Asymmetric coevolutionary networks
800 facilitate biodiversity maintenance. *Science* 312, 431–433.

801 Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C.J., & Olesen, J.M. (2003). The nested assembly of
802 plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*
803 100, 9383–9387.

804 Bersier, L. F., Banasek-Richter, C., & Cattin, M. F. (2002). Quantitative descriptors of food-
805 web matrices. *Ecology* 83, 2394–2407.

806 Blüthgen, N., Menzel, F., Hovestadt, T., Fiala, B., & Blüthgen, N. (2007). Specialization,
807 constraints, and conflicting interests in mutualistic networks. *Current Biology* 17, 1–6.

808 Blüthgen, N., Menzel, F., & Blüthgen, N. (2006). Measuring specialization in species
809 interaction networks. *BMC Ecology* 6, 12.

810 Dunne, J. A., Williams, R. J., & Martinez N. D. (2002). Food-web structure and network theory:
811 the role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 99,
812 12917– 12922.

813 Gotelli, N.J., & Graves, G.R. (1996). *Null Models in Ecology*. Smithsonian Institution Press,
814 Washington D.C.

- 815 Müller, C.B., Adriaanse, I.C.T., Belshaw, R., & Godfray, H. C. J. (1999). The structure of an
816 aphid-parasitoid community. *Journal of Animal Ecology* 68, 346–370.
- 817 Tylianakis, J. M., Tschardtke, T., & Lewis, O. T. (2007). Habitat modification alters the
818 structure of tropical host-parasitoid food webs. *Nature* 445, 202–205.