



**MATHEUS CAMARGO SILVA MANCINI**

**DIFERENTES PARTES DA COMUNIDADE DE MORCEGOS  
EXIBEM DIFERENTES RESPOSTAS FUNCIONAIS À  
ELEVAÇÃO**

**LAVRAS – MG**

**2017**

**MATHEUS CAMARGO SILVA MANCINI**

**DIFERENTES PARTES DA COMUNIDADE DE MORCEGOS EXIBEM  
DIFERENTES RESPOSTAS FUNCIONAIS À ELEVAÇÃO**

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 Naturais em Paisagens Fragmentadas e Agroecossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Renato Gregorin

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

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

Mancini, Matheus Camargo Silva.

Diferentes partes da comunidade de morcegos exibem  
diferentes respostas funcionais à elevação / Matheus Camargo Silva  
Mancini. - 2017.

46 p. : il.

Orientador(a): Renato Gregorin.

.  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Ecologia funcional. 2. Gradiente altitudinal. 3. Bioacústica. I.  
Gregorin, Renato . . II. Título.

**MATHEUS CAMARGO SILVA MANCINI**

**DIFERENTES PARTES DA COMUNIDADE DE MORCEGOS EXIBEM  
DIFERENTES RESPOSTAS FUNCIONAIS À ELEVAÇÃO**

**DIFFERENT PARTS OF BAT COMMUNITY SHOWS DIFFERENT FUNCTIONAL  
RESPONSES TO ELEVATION**

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 Naturais em Paisagens Fragmentadas e Agroecossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de agosto de 2017.

Dr. Renato Gregorin/UFLA

Dr. Rafael Dudeque Zenni/UFLA

Dr. Nelson Henrique de Almeida Curi/UNILAVRAS

Prof. Dr. Renato Gregorin

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Professor e amigo Renato Gregorin, pela orientação, apoio, confiança, pelos valiosos conselhos e pela sabedoria.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, pelo conhecimento e suporte sempre que necessário.

Ao amigo Rafael Laurindo, parceiro de campo, por todas as (muitas) contribuições para o trabalho, sempre visando à qualidade do mesmo.

Ao amigo Frederico Hintze, pela grande ajuda na identificação das ecolocalizações, bem como por todo o conhecimento passado.

Ao Rodrigo Mello e ao pessoal da Zoologia (Marcel, Epifânio, Wellington, Letícia, Daisy), pela amizade, pelas conversas produtivas, pelos cafés e por sempre manter a porta do laboratório aberta. Foram todos muito importantes para manter o ambiente de trabalho sempre agradável e produtivo.

À Érica Hasui, Rodrigo Fagundes Braga, Déborah Apgaua, Rafael Dudeque Zenni, Luiz Fernando Silva Magnago e Nelson Curi, por todas as sugestões e ajuda nas análises, tendo assim um papel importante para a qualidade final do trabalho.

À Débora Mascarenhas da RPPN Fazenda Renópolis pela permissão de coleta nas áreas da fazenda, por todo apoio logístico, pela grande hospitalidade e companhia nos campos. Também à prefeitura de Pindamonhangaba, ao Exército Brasileiro e a IMBel, pela permissão de coleta nas áreas sob sua responsabilidade e pelo apoio logístico.

Ao Patrício Rocha, amigo e pessoa importante para a existência desse trabalho.

À Ellen, secretária do programa, por todos os esclarecimentos ao longo desses dois anos sempre de modo gentil.

A toda minha família, em especial meus pais, Adriana e Marcelo, por sempre terem acreditado em mim e por terem me ensinado a correr atrás de meus sonhos. Não teria chegado tão longe se não fosse por vocês.

À Elaine, minha companheira, por todo carinho, apoio e compreensão durante minhas ausências.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

## RESUMO

A ecologia funcional dedica-se ao estudo de como as características dos organismos se relacionam com os processos ecológicos que eles realizam em nível de ecossistema. Diversos estudos vêm sendo realizados nessa perspectiva a fim de verificar como a diversidade dessas características afeta a realização desses processos, e como essa diversidade reflete na capacidade de colonização dos organismos e na estruturação de comunidades. Nessa dissertação, buscou-se avaliar como parcelas distintas da comunidade de morcegos respondem a um gradiente elevacional, levando em consideração seus traços e diversidade funcional. Os traços utilizados foram referentes às características da asa e de dieta, e estão relacionados com diferentes formas de uso de espaço e recursos. Essas parcelas da comunidade foram divididas com base nos modos que essas espécies exploram seu ambiente, e foram chamadas aqui de morcegos de sub-bosque e morcegos de áreas abertas. Para a coleta dos morcegos de sub-bosque, foram utilizadas redes de neblina, abertas no período de 18:00 às 00:00h, onde cada indivíduo capturado tinha seus traços funcionais coletados. Para amostragem dos morcegos de áreas abertas, utilizou-se um detector de ultrassom, e os traços funcionais das espécies registradas foram obtidos na literatura. Foram construídos modelos lineares generalizados para avaliar a relação das métricas funcionais de cada grupo com a elevação. Os resultados encontrados mostram que a diversidade funcional diminui com o gradiente elevacional apenas para uma das parcelas da comunidade. Para as medidas dos traços funcionais, cada parcela apresentou uma resposta distinta à elevação, e relação entre determinado traço e elevação pode ser observada para ambas ou apenas uma das parcelas. Tais resultados sugerem que a elevação exerce diferentes pressões seletivas sobre cada parcela da comunidade estudada, sendo que um mesmo traço funcional (ex. características relacionadas à sustentabilidade de voo) pode ser selecionado em diferentes direções para cada uma. O estudo reforça a importância de se levar em consideração a heterogeneidade funcional das comunidades de estudo, uma vez que diferentes padrões de resposta podem ser observados para organismos que exploram o ambiente de diferentes formas, o que por sua vez reflete na capacidade e na forma como cada grupo é afetado por variações ambientais.

**Palavras-chave:** Diversidade funcional. Traços funcionais. Chiroptera. Redes de neblina. Monitoramento acústico.

## ABSTRACT

Functional ecology is dedicated to study of how characteristics of organisms are related with ecological processes that they perform in the ecosystem level. Many studies had been made in this perspective in order to verify how the diversity of these characteristics affect the realization of these processes, and how this diversity reflects in the colonization ability of organisms and communities structuration. In this dissertation, it was evaluated how distinct sub-parts of a bat community changes in an elevational gradient, in relation to their functional diversity and traits. Traits used were referent to wing and diet characteristics, and are related with different ways of bats explore space and resources. These sub-parts were divided based on ways these species explore the environment, and were called here as understorey and openspace bats. For understorey bats sampling, mist-nets were used, between 18:00 at 00:00h, where each individual caught had their functional traits measured. For open space bats, an ultrasound detector was used, and functional traits of registered species were obtained in the literature. Generalized linear models were used to evaluate the relation between functional metrics of each group and the elevation. The results found show that functional diversity decreases with elevation for only one of the sub-parts of community. For functional trait metrics, each sub-part showed a distinct response to elevation, and relationship between a specific trait and elevation could be found for both or only one of the sub-parts. These results suggest that elevation causes different selective pressures on each sub-part of the community, and the same functional trait (ex. flight sustainability-related characteristics) can be selected in different directions for each one. This study reinforces the importance of lead in account the functional heterogeneity of studied communities, since different response patterns can be observed for organisms that explore the environment in different ways, what by their turn reflects on the capacity and the way how each group is affected by environmental variations.

**Keywords:** Functional diversity. Functional traits. Chiroptera. Mist-nets. Acoustic monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa da América do Sul, com os estados brasileiros de Minas Gerais e São Paulo destacados. Mapa elevacional da área de estudo, com pontos pretos representando pontos amostrais e números representando o gradiente de altitude.....23
- Figura 2. Relação do índice de entropia quadrática de Rao com elevação para cada parte da comunidade (**a.** sub-bosque; **b.** área aberta). Caixas no canto superior direito de cada gráfico mostram a inclinação dos modelos, valores de  $p$  e AICc. Asteriscos indicam relação significativa ( $p \leq 0.05$ ).....29
- Figura 3. Relação dos índices de CWM com relação à elevação, para comunidade de sub-bosque (**a.**, **c.** e **e.**) e área aberta (**b.**, **d.** e **f.**). Linhas tracejadas representam ponto de quebra, com intervalo de confiança de 95% em cinza claro. Caixas no canto superior direito de cada gráfico mostram a inclinação dos modelos, valores de  $p$ , AICc e ponto de quebra (bp). Asteriscos indicam relação significativa ( $p \leq 0.05$ ). Aspect – *aspect ratio*, Mass – massa corporal, Wingl – *wing loading*.....30
- Figura 4. Relação do número de guildas alimentares com elevação, para a parcela de sub-bosque. Caixa no canto superior direito do gráfico mostra a inclinação do modelo, valor de  $p$  e AICc. Asterisco indica relação significativa ( $p \leq 0.05$ ).....31

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Coordenadas geográficas precisas, altitudes e localizadas de cada ponto amostral desse estudo. Números seguem como na figura 1. Abreviações: MG – Minas Gerais, SP – São Paulo.....43
- Tabela 2. Espécies e grupos acústicos de morcegos registrados com detector de ultrassom nesse estudo (tratados como “comunidade de área aberta”), seguidos por seus traços funcionais obtidos da literatura.....44
- Tabela 3. Espécies de morcegos registradas com uso de redes de neblina nesse estudo (tratadas aqui como “comunidade de sub-bosque”) seguidas pelos números de indivíduos coletados.....45

## Sumário

<b>Primeira Parte.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Introdução .....</b>	<b>9</b>
1.1 A visão funcional da ecologia.....	9
1.2 Gradientes altitudinais .....	10
1.3 Morcegos e suas funções ecológicas.....	12
Referências.....	13
<b>Segunda Parte – Artigo.....</b>	<b>19</b>
<b>Diferentes partes da comunidade de morcegos exibem diferentes respostas funcionais à elevação.....</b>	<b>19</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>19</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>20</b>
<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>22</b>
Área de estudo.....	22
Coleta de dados .....	23
Traços funcionais .....	24
Análise de dados .....	26
<b>Resultados.....</b>	<b>28</b>
<b>Discussão.....</b>	<b>31</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>36</b>
<b>Agradecimentos.....</b>	<b>36</b>
<b>Referências.....</b>	<b>37</b>
<b>Material suplementar .....</b>	<b>43</b>
<b>Referências suplementares.....</b>	<b>46</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

#### 1.1 A visão funcional da ecologia

Ecologia é a ciência que estuda as interações que os organismos estabelecem entre si e com seus ambientes, bem como a forma como essas interações afetam a distribuição e abundância das espécies (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006). Dentro desse contexto, as interações ecológicas atuam como processos que movimentam matéria e energia dentro do ecossistema (DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002), possuindo assim um papel importante para a dinâmica deste e para a estruturação de comunidades. Por exemplo, interações como a predação e as relações mutualísticas podem ser cruciais para o bom funcionamento do ecossistema (MUSCARELLA; FLEMING, 2007; BOHM; WELLS; KALKO, 2011), e tanto a perda quanto o desequilíbrio desses processos podem resultar em danos para o mesmo, como por exemplo, através da intensificação da herbivoria e simplificação de comunidades (RIPPLE; BESCHTA, 2004).

Dentro da ecologia, a ecologia funcional é uma perspectiva que se propõe a avaliar quais são as funções ecológicas que os organismos executam no ecossistema (PETCHEY; GASTON, 2006). A ecologia funcional também estuda quais são as características (ou *traços*) que os organismos apresentam que estão relacionadas com essas funções, ou ainda, que estão relacionadas de algum modo com o desempenho desses no meio onde vivem (MCGILL et al., 2006). Tais características, chamadas de *funcionais*, podem ser morfofisiológicas ou até mesmo comportamentais, desde que estejam relacionadas de alguma forma com o desempenho do indivíduo ou com o funcionamento do ecossistema (VIOLLE et al., 2007; CARMONA et al., 2016). A ecologia funcional avalia ainda como os processos realizados pela biodiversidade podem beneficiar os seres humanos (os serviços ecossistêmicos – DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002), com o objetivo de entender não só o papel que os organismos possuem para o funcionamento dos ecossistemas, mas também para o bem-estar das pessoas que dependem deles.

Estudos sob a perspectiva da ecologia funcional têm mostrado resultados interessantes, como a evidência de processos atuando como filtros ambientais (CISNEIROS et al., 2014a), de áreas que abrigam maiores diversidades dessas características (CARVALHO et al., 2010), e como essa diversidade pode contribuir para a estabilidade dos ecossistemas (WOOD;

MCKINNEY; LOFTIN, 2017). Outros estudos têm mostrado também a grande importância que a biodiversidade pode ter para o bem-estar humano (WORM et al., 2006), muitas vezes trazendo benefícios como ganhos financeiros (CLEVELAND et al., 2006). Tais resultados evidenciam o grande potencial que os estudos sob a ótica funcional podem ter, uma vez que eles permitem a construção de um conhecimento que pode ser útil tanto para entender como ocorre a perda de espécies, através do entendimento de como características respondem e quão sensíveis elas são a alterações, quanto para manter ou melhorar a produtividade de benefícios humanos oriundos de recursos naturais.

A variedade de características funcionais apresentada pelos organismos de uma determinada unidade ecológica é chamada *diversidade funcional* (CARMONA et al., 2016). Essa diversidade vem sendo quantificada de diversas formas (PETCHEY; GASTON, 2002; MASON et al., 2005; RICOTTA; MORETTI, 2011; CARMONA et al., 2016), porém, todas elas partem da ideia de que essa diversidade consiste na distribuição dos organismos dentro de um espaço funcional (MASON et al., 2005; MOUILLOT et al., 2013; CARMONA et al., 2016), sendo esse espaço formado por eixos que representam os traços funcionais das espécies (ROSENFELD, 2002; CARMONA et al., 2016). Dessa forma, o espaço funcional preenchido por uma unidade ecológica representa todas as possibilidades de funções e/ou respostas ecológicas que aquela unidade pode apresentar, sendo as unidades mais dispersas nesse espaço aquelas que possuem maior diversidade funcional.

Dentro da ecologia de comunidades, uma questão antiga é como a biodiversidade é afetada por alterações e gradientes ambientais, tais como os gradientes de elevação (WILLIG et al., 2011). Dentro deste contexto, a diversidade funcional das comunidades pode ser de grande auxílio, uma vez que padrões a respeito de como organismos e suas características são afetados por variações no ambiente podem fornecer informações importantes a respeito da estruturação de comunidades (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHNICK, 2011). Além disso, um mesmo fator ambiental pode afetar os traços funcionais dos organismos de diferentes formas, e entender como cada um deles é influenciado pode ajudar a desemaranhar os efeitos desse fator sobre a comunidade em questão (CISNEIROS; FAGAN; WILLIG, 2014b).

## **1.2 Gradientes altitudinais**

No que diz respeito às alterações ambientais, os gradientes altitudinais representam boa oportunidade para se avaliar como fatores do ambiente influenciam as comunidades, uma

vez que este tipo de gradiente pode ter grandes variações dentro de um espaço relativamente pequeno (MCCAIN, 2007). Os gradientes de altitude representam também variação de fatores abióticos como temperatura e umidade (NUNES et al., 2016), bem como alterações em fatores bióticos, como variações na riqueza e abundância de espécies de artrópodes (BREHM; COLWELL; KLUGE, 2007; POVEDA et al., 2012) e na riqueza de espécies e estrutura da vegetação (GRYTNES; VETAAS, 2002; JANKOWSKI et al., 2012). Isso faz dos gradientes altitudinais modelos ainda mais interessantes para serem estudados, uma vez que existem diversos fatores variando ao longo deste gradiente, e o efeito dessas diferentes variáveis (e suas interações) sobre as comunidades podem ser avaliados.

A elevação e seus fatores covariantes, tais como temperatura e umidade, podem afetar também a diversidade funcional das comunidades (CISNEIROS; et al., 2014a; DEHLING et al., 2014). Em geral, estudos avaliando o efeito desse gradiente sobre a diversidade funcional encontraram maiores diversidades em elevações baixas e intermediárias (DEHLING et al., 2014; DREISS et al., 2015; MAGLIANESI et al., 2015), sugerindo que os gradientes altitudinais atuam como *filtros ambientais* (CISNEIROS et al., 2014a), onde fatores bióticos e/ou abióticos atuam selecionando características funcionais específicas que sejam obrigatórias para a persistência de determinado táxon, o que acarreta em uma redução do espaço funcional preenchido por aquela unidade ecológica.

Outro fator importante, mas menos explorado, é como o gradiente elevacional afeta características funcionais específicas das comunidades, uma vez que essas características se relacionam com o desempenho dos organismos (MCGILL et al., 2006; CARMONA et al., 2016). Entender como elas são afetadas pela elevação pode trazer importantes informações sobre como fatores bióticos e abióticos podem influenciar essas características, e conseqüentemente, a capacidade de persistência e colonização dos organismos que as apresentam. Apesar de estudos anteriores já terem se dedicado sobre essa questão (MORETTI et al., 2010; PESCADOR et al., 2015; MAGLIANESI et al., 2015; CHAPMAN et al., 2016), pouco ainda se sabe sobre como as respostas de traços funcionais à elevação ocorrem em vertebrados (mas ver MAGLIANESI et al., 2015 para beija-flores), uma vez que a maioria dos trabalhos prévios focou em plantas (PESCADOR et al., 2015; CHAPMAN et al., 2016) e invertebrados (MORETTI et al., 2010; RICOTTA; MORETTI, 2011). Uma vez que vertebrados contribuem com diversos processos em nível de ecossistema (SEKERCIOGLU, 2006; DALERUM, 2013), é desejável que estudos sejam realizados focando tais questões, no

sentido de testar hipóteses e aumentar o conhecimento ainda escasso sobre como os traços funcionais desses organismos são afetados por variações do meio biótico ou abiótico.

### **1.3 Morcegos e suas funções ecológicas**

Dentro da perspectiva funcional, os morcegos se caracterizam como um bom grupo de estudo, principalmente nos trópicos, uma vez que estes possuem elevada riqueza taxonômica e diversidade de hábitos alimentares (SIMMONS, 2005), além de serem abundantes nessas regiões (CISNEIROS; FAGAN; WILLIG, 2016). Ademais, devido a características particulares desse grupo, como a capacidade de voar e a orientação acústica, os morcegos possuem importantes funções dentro dos ecossistemas que habitam (STEVENS et al., 2003), como por exemplo, o controle populacional de insetos noturnos nas florestas tropicais.

A grande diversidade de dietas apresentada por esse grupo permite também que os morcegos explorem diversos tipos de recursos, e conseqüentemente realizem diversas funções ecológicas (KUNZ et al., 2011; GHANEM; VOIGT, 2012). Essas funções incluem principalmente a predação de insetos, a dispersão de sementes e a polinização de plantas (LOBOVA; GEISELMAN; MORI, 2009; KUNZ et al., 2011; GHANEM; VOIGT, 2012), mas abrangem também contribuições na ciclagem e redistribuição de nutrientes pela deposição de guano (GHANEM; VOIGT, 2012), no aumento da taxa de recrutamento de populações de plantas (KUNZ et al., 2011) e no controle populacional de vertebrados (REIS et al., 2007).

As funções realizadas pelos morcegos também auxiliam na restauração de áreas degradadas, através do reflorestamento e fluxo gênico entre populações de plantas de áreas fragmentadas (MUSCARELLA; FLEMING, 2007; GHANEM; VOIGT, 2012; RIPPERGER et al., 2015), bem como mediante o controle de pragas (CLEVELAND et al., 2006; KALKA; SMITH; KALKO, 2008; LIBRÁN-EMBED; DE COSTER; METZGER, 2017), fazendo com que esses animais tenham também grande valor para a conservação e regeneração de ecossistemas (KALKA; SMITH; KALKO, 2008; PRECIADO-BENÍTEZ et al., 2015). Desse modo, os morcegos também beneficiam direta e indiretamente o bem-estar humano, seja atuando como mantenedores e restauradores de ecossistemas que provêm benefícios como purificação da água, do ar e regulação do clima, seja influenciando em fatores econômicos, como produtividade de plantações, ou até mesmo contribuindo com avanços para a medicina, como a produção de anticoagulantes (CIPRANDI; HORN;

TERMIGNONI, 2003).

Uma vez reconhecida a grande importância ecológica desses animais, torna-se necessário o estudo de como esses organismos se estruturam e se distribuem em diferentes ambientes e na paisagem, bem como quais são as influências que fatores abióticos (tais como os relacionados à latitude e altitude) possuem sobre a comunidade, e quais as consequências desses efeitos sobre os ecossistemas em que elas se encontram. Sendo assim, no presente estudo, buscou-se avaliar como o gradiente elevacional em floresta Atlântica no Sudeste do Brasil afeta a diversidade funcional de morcegos, bem como os traços funcionais dessa comunidade, buscando entender como cada característica funcional responde ao conjunto de fatores que variam ao longo desse gradiente. Assim, espera-se aqui que os resultados encontrados nesse estudo contribuam para o entendimento de algumas das muitas questões expostas anteriormente, auxiliando na construção de um conhecimento que permita tomadas de decisões voltadas à manutenção do funcionamento adequado dos ecossistemas, e por consequência do bem-estar humano.

## REFERÊNCIAS

- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: from individuals to ecosystems**, fourth ed. Blackwell Publishing, United Kingdom, 2006. 714 p.
- BOHM, S. M.; WELLS, K.; KALKO, E. K. V. Top-down control of herbivory by birds and bats in the canopy of temperate broad-leaved oaks (*Quercus robur*). **Plos One**, San Francisco, v. 6, n. 4, e17857, Abr. 2011.
- BREHM, G.; COLWELL, R. K.; KLUGE, J. The role of environment and mid-domain effect on moth species richness along a tropical elevational gradient. **Global Ecology and Biogeography**, Hoboken, v. 16, n. 2, p. 205-219, Mar. 2007.
- CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 48, n. 5, p. 1079-1087, Ago. 2011.
- CARMONA, C. P.; DE BELLO, F.; MASON, N. W. H.; LEPS, J. Traits Without Borders: Integrating Functional Diversity Across Scales. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdã, v. 31, n. 5, p. 382-394 Fev. 2016.

- CARVALHO, R. A.; CIANCIARUSO, M. V.; TRINDADE-FILHO, J.; SAGNORI, M. D.; LOYOLA, R. D., Drafting a Blueprint for Functional and Phylogenetic Diversity Conservation in the Brazilian Cerrado. **Natureza & Conservação**, Amsterdã, v. 8, n. 2, p. 171-176, Dez. 2010.
- CHAPMAN, H.; CORDEIRO, N. J.; DUTTON, P.; WENNY, D.; KITAMURA, S.; KAPLIN, B.; MELO, F. P. L.; LAWES, M. J. Seed-dispersal ecology of tropical montane forests. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 32, n. 5, p. 437-454, Ago. 2016.
- CISNEIROS, L. M.; BURGIO, K. R.; DREISS, L. M.; KLINGBEIL, B. T.; PATTERSON, B. D.; PRESLEY, S. J.; WILLIG, M. R. Multiple dimensions of bat biodiversity along an extensive tropical elevational gradient. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 83, n. 5, p. 1124-1136, Fev. 2014a.
- CISNEIROS, L. M.; FAGAN, M. E.; WILLIG, M. R. Effects of human-modified landscapes on taxonomic, functional and phylogenetic dimensions of bat biodiversity. **Diversity and Distributions**, Hoboken, v.21, n. 5, p. 1-11. Nov. 2014b.
- CISNEIROS, L. M.; FAGAN, M. E.; WILLIG, M. R. Environmental and spatial drivers of taxonomic, functional and phylogenetic characteristics of bat communities in human-modified landscapes. **Peer J**, London, v. 4, e2551, Out. 2016.
- CIPRANDI, A.; HORN, F.; TERMIGNONI, C. Saliva de animais hematófagos: fonte de novos anticoagulantes. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, São José do Rio Preto, v. 25, n. 4, p. 250-262, Dez. 2003.
- CLEVELAND, C. J.; BETKE, M.; FEDERICO, P.; FRANK, J. D.; HALLAM, T. G.; HORN, J.; LÓPEZ JR., J. D.; MCCRACKEN, G. F.; MEDELLÍN, R. A.; MORENO-VALDEZ, A.; SANSONE, C. G.; WESTBROOK, J. K.; KUNZ, T. H. Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington D. C., v. 4, n. 5, p. 238-243, Jun. 2006.
- DALERUM, F. Phylogenetic and functional diversity in large carnivorous assemblages. **Proceedings of the Royal Society B**, London, v. 280, n. 1760, 20130049, Abr. 2013.
- DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Amsterdã, v. 41, n. 3, p. 393-408, Jun. 2002.
- DEHLING, D. M.; FRITZ, S. A.; TOPFER, T.; PACKERT, M.; ESTLER, P.; BOHNING-GAESE, K.; SCHLEUNING, M. Functional and phylogenetic diversity and assemblage

structure of frugivorous birds along an elevational gradient in the tropical Andes. **Ecography**, Hoboken, v. 37, n. 11, p. 001-009, Feb. 2014.

DREISS, L. M.; BURGIO, K. R.; CISNEIROS, L. M.; KLINGBEIL, B. T.; PATTERSON, B. D.; PRESLEY, S. J.; WILLIG, M. R. Taxonomic, functional, and phylogenetic dimensions of rodent biodiversity along an extensive tropical elevational gradient. **Ecography**, Hoboken, v. 38, n. 9, p. 001-013, Jan. 2015.

GHANEM, S. J.; VOIGT, C. C. Increasing Awareness of Ecosystem Services Provided by Bats. In: Brockmann, H. J.; Roper, T. J.; Naguib, M.; Mitani, J. C.; Simmons, L. W. (Ed.). **Advances in the Study of Behavior**. Burlington: Academic Press, 2012. p. 279-302.

GRYTNES, J. A.; VETAAS, O. R. Species richness and altitude: a comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. **The American Naturalist**, Chicago, v. 159, n. 3, p. 294-304, Mar. 2002.

JANKOWSKI, J. E.; MERKORD, C. L.; RIOS, W. F.; CABRERA, K. G.; REVILLA, N. S.; SILMAN, M. R. The relationship of tropical bird communities to tree species composition and vegetation structure along an Andean elevational gradient. **Journal of Biogeography**, Hoboken, v. 40, n. 5, p. 950-962, Nov. 2012.

KALKA, M. B.; SMITH, A. R.; KALKO, E. K. V. Bats limit Arthropods and Herbivory in a Tropical Forest. **Science**, Washington D. C., v. 320, p. 71, Apr. 2008.

KUNZ, T. H.; TORREZ, E. B.; BAUER, D., LOBOVA, T., FLEMING, T. H. Ecosystem services provided by bats. **Annals New York Academy of Science**, Hoboken, v. 1223, p. 1-38, Mar. 2011.

LIBRIAN-EMBED, F.; DE COSTER, G.; METZGER, J.P. Effects of bird and bat exclusion on coffee pest control at multiple spatial scales. **Landscape Ecology**, Berlin, v. 32, n. 9, p. 1907-1920, Set. 2017.

LOBOVA T.A.; GEISELMAN, C. K.; MORI, S. A. Seed dispersal by bats in the Neotropics. **Memoirs of the New York Botanical Garden**, New York, v. 101, 2009. 471 p.

MAGLIANESI, M. A.; BLUTHGEN, N.; BOHNING-GAESE, K.; SCHLEUNING, M. Functional structure and specialization in three tropical plant-hummingbird interaction networks across an elevational gradient in Costa Rica. **Ecography**, Hoboken, v. 38, n. 11, p. 001-010, Mar. 2015.

MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D.; LEE, W. G.; WILSON, J. B. Functional richness,

functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. **Oikos**, Hoboken, v. 111, n. 1, p. 112-118, Set. 2005.

MCCAIN, C. M. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. **Global Ecology and Biogeography**, Hoboken, v. 16, n. 1, p. 1-13, Jan. 2007.

MCGILL, B. J.; ENQUIST, B. J.; WEIHER, E.; WESTOBY, M. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdã, v. 21, n. 4, p. 178-185, Abr. 2006.

MORETTI, M.; CÁCERES, M. D.; PRADELLA, C.; OBRIST, M. K.; WERMELINGER, B.; LEGENDRE, P.; DUELLI, P. Fire-induced taxonomic and functional changes in saproxylic beetle communities in fire sensitive regions. **Ecography**, Hoboken, v. 33, n. 4, p. 760-771, Abr. 2010.

MOUILLOT, D.; GRAHAM, N. A. J.; VILLÉRGER, S.; MASON, N. W. H.; BELLWOOD, D. R. A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdã, v. 28, n. 3, p. 167-177, Mar. 2013.

MUSCARELLA, R.; FLEMING, T. H. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. **Biological Reviews**, Hoboken, v. 82(4), p. 573-590, Out. 2007.

NUNES, C. A.; BRAGA, R. F.; FIGUEIRA, J. E. C.; NEVES, F. S.; FERNANDES, G. W. Dung Beetles along a tropical altitudinal gradient: environmental filtering on taxonomic and functional diversity. **Plos One**, San Francisco, v. 11, n. 6, e0157442, Jun. 2016.

PESCADOR, D. S.; DE BELLO, F.; VALLADARES, F.; ESCUDERO, A. Plant trait variation along an altitudinal gradient in Mediterranean high mountain grasslands: controlling the species turnover effect. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n. 3, e0118876, Mar. 2015.

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

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, Hoboken, v. 5, n. 3, p. 402-411, Mai. 2002.

PRECIADO-BENÍTEZ, O.; GÓMEZ Y GÓMEZ, B.; NAVARRETE-GUTIÉRREZ, D. A.; HORVÁTH, A. The use of commercial fruits as attraction agentes may increase the seed

dispersal by bats to degraded areas in Southern Mexico. **Tropical Conservation Science**, Newcastle, v. 8, n. 2, p. 301-317, Jun. 2015.

POVEDA, K.; MARTÍNEZ, E.; KERSCH-BECKER, M. F.; BONILLA, M. A.; TSCHARNTKE, T. Landscape simplification and altitude affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 49, n. 2, p. 513-522, Mar. 2012.

REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. **Morcegos do Brasil**. Londrina, Nélio Roberto Reis, 2007. 253 p.

RICOTTA, C.; MORETTI, M. CWM and Rao's quadratic diversity: a unified framework for functional ecology. **Oecologia**, Berlim, v. 167, n. 1, p. 181-188, Set. 2011.

RIPPERGER, S. P.; KALKO, E. K. V.; RODRÍGUEZ-HERRERA, B.; MAYER, F.; TSCHAPKA, M. Frugivorous Bats Maintain Functional Habitat Connectivity in Agricultural Landscapes but Rely Strongly on Natural Forest Fragments. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n. 4, e0120535, Abr. 2015.

RIPPLE, W. J.; BESCHTA, R. L. Wolves and the ecology of fear: can predation risk structure ecosystems? **BioScience**, Uberlândia, v. 54, n. 8, p. 755-766, Ago. 2004.

ROSENFELD, J. S. Functional redundancy in ecology and conservation. **Oikos**, Hoboken, v. 98, n. 1, p. 156-162, Jul. 2002.

SEKERCIOGLU, C. H. Increasing awareness of avian ecological function. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdã, v. 21, n. 8, p. 464-471, Jun. 2006.

SIMMONS, N. B. Order Chiroptera. In: WILSON, D. E.; REEDER, D. M. (Ed.). **Mammal Species of the World**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005. p. 312-529.

STEVENS, R. D.; COX, S. B.; STRAUSS, R. E.; WILLIG, M. R. Patterns of functional diversity across an extensive environmental gradient: vertebrate consumers, hidden treatments and latitudinal trends. **Ecology Letters**, Hoboken, v. 6, n. 12, p. 1099 – 1108, Nov. 2003.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, Hoboken, v. 116, n. 5, p. 882-892, Jan. 2007.

WILLIG, M. R.; PRESLEY, S. J.; BLOCH, C. P.; CASTRO-ARELLANO, I.; CISNEIROS, L. M.; HIGGINS, C. L.; KLINGBEIL, B. T. Tropical metacommunities along elevational gradients: effects of forest type and other environmental factors. **Oikos**, Hoboken, v. 120, n. 10, p. 1497-1508, Mar. 2011.

WOOD, C. M.; MCKINNEY, S. T.; LOFTIN, C. S. Intraspecific functional diversity of common species enhances community stability. **Ecology and Evolution**, Hoboken, v. 7, n. 5, p. 1553-1560, Mar. 2017.

WORM, B.; BARBIER, E. B.; BEAUMONT, N.; DUFFY, J. E.; FOLKE, C.; HALPERN, B. S.; JACKSON, J. B. C.; LOTZE, H. K.; MICHELI, F.; PALUMBI, S. R.; SALA, E.; SELKOE, K. A., STACHOWICZ, J.J., WATSON, R. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. **Science**, Washington D. C., v. 314, p. 787-790, Nov. 2006.

## SEGUNDA PARTE – ARTIGO

### **Diferentes partes da comunidade de morcegos exibem diferentes respostas funcionais à elevação**

Matheus Camargo Silva Mancini

*Artigo nas normas de formatação da revista Acta  
Oecologica.*

#### **Resumo**

Entender as respostas da biodiversidade frente às variações ambientais é um objetivo antigo da ecologia. Sob uma perspectiva funcional, estudos têm mostrado que essas alterações podem afetar as características funcionais dos organismos, as quais estão relacionadas com seu desempenho e processos ecológicos realizados. Nesse estudo, avaliou-se como a diversidade e os traços funcionais de duas parcelas distintas da comunidade de morcegos, os que voam próximo ao solo e os que voam em grandes altitudes, respondem a um gradiente de elevação. Para cada parcela da comunidade foi calculada a diversidade funcional através do índice de entropia quadrática de Rao (RaoQ) e as médias ponderadas da comunidade (CWMs) de cada traço funcional. Modelos lineares generalizados foram usados para verificar as relações que cada métrica apresenta com a elevação, para cada uma das parcelas. Os resultados encontrados mostram que cada parcela da comunidade de morcegos responde de maneira distinta ao gradiente, com RaoQ sendo significativo apenas para uma das parcelas da comunidade, e medidas de CWM podendo ser relacionadas à elevação para ambas ou apenas uma das parcelas. Tais resultados mostram como um mesmo gradiente pode exercer diferentes pressões seletivas em cada parcela de uma determinada comunidade, e destaca como respostas funcionais à alterações ambientais podem ser complexas, uma vez que diferentes espécies ou grupos de espécies exploram seu meio de formas completamente distintas.

**Palavras-chave:** Diversidade funcional, traços funcionais, Chiroptera, monitoramento acústico.

## Introdução

Entender como a biodiversidade é afetada por gradientes ambientais (antrópicos e naturais) é há muito tempo um dos principais focos de estudo da ecologia (Willig et al., 2011; Munguia et al., 2016). Muitos estudos têm mostrado que mudanças consideráveis na biodiversidade podem ocorrer devido a esses gradientes (Pianka, 1966; Hansen et al., 2005), porém, a maioria desses estudos usou apenas a riqueza taxonômica como medida da biodiversidade (Cisneiros et al., 2014). Apesar da importância da riqueza como parâmetro, existe um consenso crescente de que outras dimensões da biodiversidade devem ser também investigadas, como por exemplo, a perspectiva funcional (Pavoine and Bonsall, 2011). A análise dos componentes funcionais da biodiversidade é uma abordagem que investiga a variabilidade de características funcionais apresentada pelos organismos (Petchey and Gaston, 2006). Tais características estão relacionadas com processos ao nível de ecossistema (Petchey and Gaston, 2006; Violle *et. al.*, 2007) ou com o desempenho do indivíduo no meio (McGill *et. al.*, 2006; Violle, *et. al.*, 2007), e podem ser fenotípicas, fisiológicas, ou comportamentais (Violle *et. al.*, 2007).

Estudos sobre a diversidade funcional têm revelado que gradientes ambientais podem ter grandes efeitos sobre a estrutura das comunidades, com influências que vão desde filtros ambientais até a uma diferenciação de características maior do que a esperada pelo acaso, sugerindo que processos (ex. competição) podem levar organismos a diferenciar suas características para explorar diferentes partes do ambiente (Cisneiros et al., 2014). Por exemplo, já foi detectado que gradientes elevacionais podem atuar como filtros ambientais para comunidades de roedores (Dreiss *et. al.*, 2015), uma vez que determinado conjunto de características pode conferir superioridade competitiva em ambientes mais frios e menos complexos. Também já foi observado que comunidades de abelhas podem sofrer variações consistentes em suas características funcionais em diferentes estágios de sucessão após fogo (Ricotta and Moretti, 2011), em resposta às características bióticas e abióticas de cada estágio. Essas evidências mostram a importância de entender mudanças na biodiversidade não apenas de um ponto de vista taxonômico, mas também funcional, uma vez que esse pode refletir a capacidade de colonização das espécies e os efeitos de fatores bióticos e abióticos para o *fitness* destas (Cadotte et al., 2011). Desse modo, é desejável a compreensão dessas questões para o entendimento de como os organismos são afetados pelo seu ambiente, e como esses efeitos resultam em mudanças nas respostas adaptativas das espécies e na realização de processos ecológicos.

No contexto de gradientes ambientais, montanhas representam um bom modelo de estudo, uma vez que gradientes de elevação incluem variação de diferentes fatores (ex. temperatura e precipitação) em uma escala espacial pequena (McCain, 2007; Nunes et al., 2016). Isso permite a realização de estudos que investigam como gradientes afetam a biodiversidade, com a vantagem de não precisar de grandes extensões geográficas para compreender os processos envolvidos. Além disso, gradientes altitudinais também incluem variação em fatores bióticos, tais como a redução da riqueza de espécies de plantas (Grytnes and Vetaas, 2002) e variação na riqueza de artrópodes, como borboletas e mariposas (Brehm et al., 2007), os quais por sua vez exercem grande influência sobre as interações e características das espécies. Isso faz dos gradientes altitudinais bons modelos não apenas para avaliar como a variação em fatores ambientais afeta a riqueza, mas também como essas variações afetam o desempenho dos organismos presentes.

No caso dos morcegos, estes compõem um grupo bastante diverso, tanto no contexto taxonômico (Simmons, 2005) quanto funcional (Kunz et al., 2011), uma vez que eles possuem diversos modos de explorar seus ambientes e recursos. Conseqüentemente, morcegos contribuem com diversos processos ecológicos para o funcionamento do ecossistema (Kunz et al., 2011; Ghanem and Voight, 2012), incluindo polinização (Trejo-Salazar et al., 2016), dispersão de sementes (Muscarella and Fleming, 2007) e controle de artrópodes (Bohm et al., 2011). O fato de morcegos explorarem diferentes tipos de ambientes também tem implicações sobre as formas como essas comunidades podem ser estudadas. Muitas espécies de morcegos neotropicais, a maioria da família Phyllostomidae, normalmente explora o sub-bosque e esta parcela da comunidade tem sido bem amostrada com uso de redes de neblina situadas nesse estrato da vegetação (O'Farrell and Gannon, 1999; Sampaio et al., 2003). No entanto, outros grupos de morcegos (ex. família Molossidae e algumas espécies da família Vespertilionidae) possuem comportamentos e estratégias de voo que dificultam a sua captura em redes de neblina (O'Farrell and Gannon, 1999; Rydell et al., 2002; Sampaio et al., 2003). Para essas espécies, o uso de detectores de ultrassom e da bioacústica é fundamental, já que todas as espécies de morcegos neotropicais utilizam sinais de ecolocalização (O'Farrell and Gannon, 1999, Sampaio et al., 2003; Hintze et al., 2016). Normalmente, as vocalizações são espécie-específica, resultante da evolução anatômica e ecológica, o que permite os mais variados estudos ecológicos e funcionais (O'Farrell and Gannon, 1999; Schnitzler and Kalko, 2001; Kunz and Fenton, 2003).

Estudos abordando a diversidade funcional têm focado primariamente nos morcegos

no nível de sub-bosque (Cisneiros et al., 2016; García-Morales et al., 2016) e têm trazido resultados valiosos, como os efeitos de alterações humanas e do desmatamento sobre a diversidade funcional dessa parcela da comunidade. Contudo, é importante que morcegos que forrageiam em áreas abertas e altitudes elevadas também sejam considerados em estudos funcionais, uma vez que eles compõem uma parte representativa das comunidades, e realizam uma importante função como controladores de populações de artrópodes. Com isso em mente, o presente estudo buscou avaliar como a diversidade e os traços funcionais dessas duas parcelas diferentes da comunidade de morcegos, os que voam próximo ao solo e em altitudes elevadas, são afetadas por um gradiente elevacional. Foi adotada a hipótese de que cada parcela apresenta diferentes respostas funcionais a esse gradiente, uma vez que essas diferem na forma como interagem e exploram seus ambientes.

## **Materiais e Métodos**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na Serra da Mantiqueira, entre os estados de Minas Gerais e São Paulo, sudeste do Brasil (figura 1). A serra da Mantiqueira é uma área protegida e um dos maiores complexos montanhosos da região sudeste, sendo também um importante remanescente de Mata Atlântica. A vegetação dessa área é caracterizada como floresta ombrófila densa, variando entre os subtipos alto e baixo Montana segundo IBGE (2012), com verões chuvosos e invernos secos. O gradiente de elevação varia de 500 a 2798 metros acima do nível do mar.

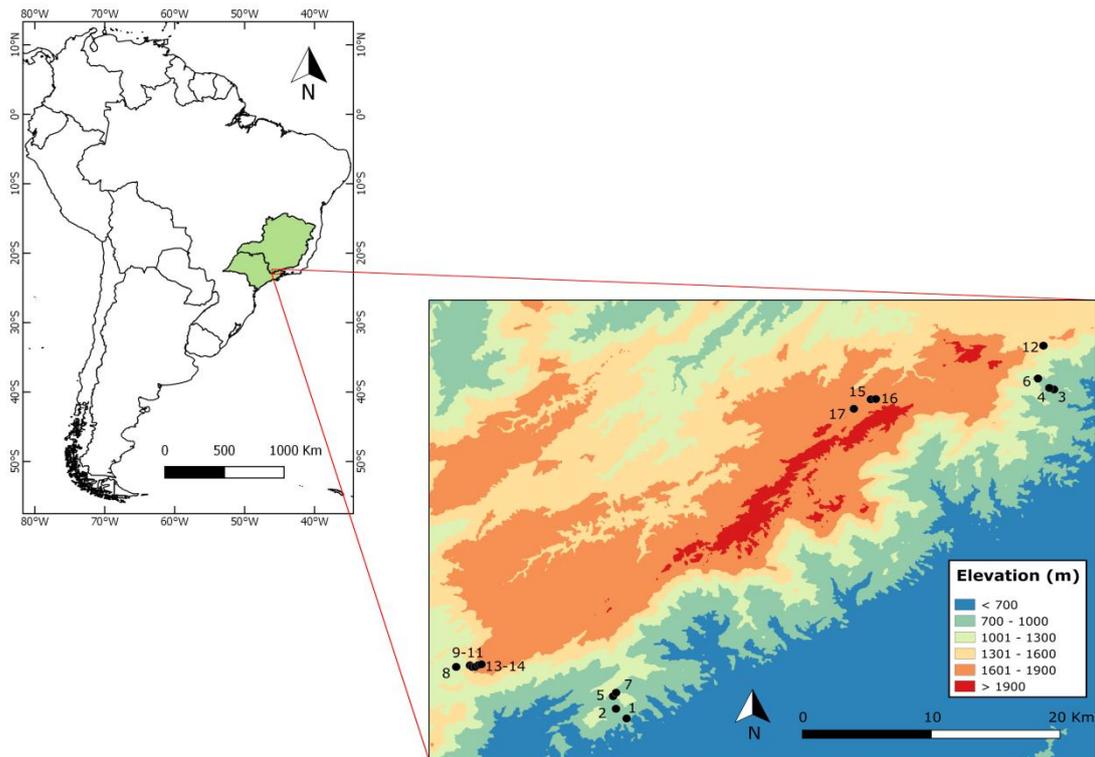


Figura 1. Mapa da América do Sul, com os estados brasileiros de Minas Gerais e São Paulo destacados, e mapa detalhando o gradiente elevacional na área de estudo. Pontos 1 a 17 são pontos amostrais no gradiente de altitude. Coordenadas e altitudes são dadas no material suplementar.

## Coleta de dados

As expedições de campo ocorreram durante Março/2016 à Abril/2017, de modo a abranger o levantamento da comunidade durante os períodos chuvosos e secos. Pontos amostrais foram sempre localizados em áreas com menor impacto antrópico possível, e incluíram reservas particulares, pontos turísticos em lugares públicos, áreas protegidas por governos municipais e áreas militares. Para avaliar como a comunidade muda ao longo do gradiente de altitude, 17 pontos foram selecionados (Figura 1), englobando um gradiente de 700 a 1800 m de elevação. Tal gradiente, bem como seus pontos amostrais, foram definidos pela acessibilidade e permissão de entrada nas áreas pertencentes às entidades descritas acima. Em cada ponto, métricas funcionais da comunidade (ver análise de dados) foram obtidas para possibilitar a análise de como essas características variam ao longo deste gradiente. Cada ponto foi amostrado duas vezes, sendo uma em cada estação, chuvosa e seca.

Para a comunidade de sub-bosque foram usadas em cada ponto oito redes de neblina (3m x 12m), armadas ao nível do solo, e abertas das 18:00 às 00:00h. Os indivíduos capturados foram colocados em um saco de algodão e tiveram seus traços fenotípicos coletados e posteriormente liberados. Os traços da asa foram coletados seguindo Norberg and Rayner (1987), com os indivíduos posicionados dorsalmente sobre um papel milimetrado com a asa esquerda estirada na altura do ombro, fotografados a uma distância padrão de meio metro de altura. Também se coletou a massa corpórea e a dieta foi classificada com base em informações contidas na literatura publicada sobre o principal tipo de item alimentar consumido (Reis et al., 2007; Soriano, 2000; Farneda et al., 2015 – material suplementar). Os tipos de dieta incluíram frugívoros, nectarívoros, insetívoros, onívoros, carnívoros e hematófagos.

A comunidade de morcegos de áreas abertas foi amostrada com o uso de detector de ultrassom modelo Pettersson D-240X<sup>®</sup> (Pettersson Elektronik, Sweden), usado simultaneamente nos modos time expansion (manual) e heterodine. O detector foi colocado em um ponto fixo em área aberta próximo ao solo, e os dados foram obtidos a cada cinco minutos com intervalos de meia hora ao longo do mesmo período das redes, das 18:00 às 00:00 h. As vocalizações foram armazenadas em gravador de mão digital Zoom<sup>®</sup> H2n e analisadas no software RAVEN PRO v1.4<sup>®</sup> (Cornel Lab of Ornithology, Ithaca) e identificadas com chaves de ecolocalização disponíveis (Jung et al., 2007; Jung et al., 2014; López-Baucells et al., 2016; Hintze et al., 2016). Parâmetros dos espectrogramas foram ajustados para Fast Fourier Transformation tamanho 1024 e janelas de exibição com comprimento de 1ms, com vocalizações reproduzidas através de um fator de expansão temporal de 10x. Foram identificadas apenas vocalizações de fase de busca (*search calls*) com boa qualidade de gravação e contendo um mínimo de três pulsos (Lloyd et. al., 2006), para que se pudessem obter identificações confiáveis. Todas as sequências que não respeitassem essas premissas foram classificadas como “não identificáveis”.

### **Traços funcionais**

Foram avaliados quatro traços funcionais, sendo estes relacionados ao uso de recursos e espaço. Os traços relacionados ao uso de recursos foram massa corpórea e tipo de dieta. A massa corpórea representa a demanda energética apresentada pelos organismos, enquanto que o tipo de dieta fornece informação sobre as interações nas quais os organismos estão

envolvidos e sobre os processos ecológicos que eles realizam (Soriano, 2000). Os traços relacionados ao uso de espaço foram *aspect ratio* e *wing loading*. *Aspect ratio* consiste em uma razão entre envergadura e área da asa, e está relacionado com a sustentabilidade do voo (Norberg and Rayner, 1987). Já *wing loading* consiste em uma razão entre massa e área da asa, estando relacionado com manobrabilidade do voo (Norberg and Rayner, 1987). Por estarem ligados a questões aerodinâmicas, esses traços expressam as formas de voo quanto à velocidade, potência e manobrabilidade, os tipos de ambiente que os organismos podem voar, bem como o gasto energético e tempo que esses animais despendem durante essa atividade.

Os dados sobre os traços foram obtidos de duas fontes. Para os animais de sub-bosque, os traços foram medidos de indivíduos capturados em rede. Para as espécies detectadas pelo ultrassom, os traços foram obtidos na literatura (material suplementar), seguindo a metodologia proposta por Carmona et al. (2016) para estimar traços funcionais de espécies quando a medição em campo não é possível. Primeiramente foram encontrados na literatura valores de média e desvio padrão dos traços funcionais utilizados para cada espécie. Após essa etapa, para cada espécie construiu-se uma distribuição normal para cada um desses traços ( $n=100$ ), de modo a simular uma situação onde a maioria das observações encontra-se em torno de um valor médio. Em seguida, para cada distribuição de determinada espécie amostrou-se uma quantidade de valores igual ao total de observações daquela espécie obtido nesse estudo. Para alguns casos, usou-se a média e desvio padrão de nossas observações em rede para fazer essas distribuições (ver material suplementar para detalhes). Para *Eptesicus furinalis* e *E. chiroquinus*, foram usados os valores de traços de espécimes depositados na Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Lavras (CMUFLA), uma vez que traços funcionais dessas espécies não foram encontrados na literatura. Para *E. brasiliensis* e *Lasiurus blossevili*, foram encontrados na literatura apenas média e desvio padrão para massa corpórea, área da asa e envergadura. Sendo assim, para essas espécies foram construídas funções de densidade de probabilidade para cada um desses traços, e os valores amostrados foram usados para calcular os traços funcionais utilizados aqui através da fórmula fornecida por Norberg and Rayner (1987). Para essas espécies, o material suplementar apresenta a média e desvio padrão desses traços obtidos através desse método.

Para as análises de morcegos de áreas abertas foram incluídas apenas as espécies cujos dados de traços funcionais estivessem disponíveis na literatura, que pudessem ser obtidos por meio de espécimes capturados em campo ou depositados na CMUFLA. Isso foi

feito porque grupos acústicos podem incluir espécies que diferem nos traços aqui avaliados, com exceção de *Lasiurus ega/L. egregius*, cuja principal diferença fenotípica diagnóstica está na coloração da pelagem (Gardner, 2008). Assim, como não foram encontrados traços funcionais para *L. ega* na literatura, usou-se os traços de *L. egregius*. É importante comentar aqui que após revisão molecular realizada por Baird et al. (2015), *Lasiurus ega* e *L. egregius* passaram a ser conhecidos como *Dasypterus ega* e *Aeorestes egregius*, respectivamente. A nomenclatura anterior foi mantida aqui apenas para facilitar a comparação com chaves acústicas de morcegos Neotropicais.

Na parcela de morcegos de sub-bosque, um total de 50 indivíduos teve pelo menos um de seus traços funcionais faltando. Para preencher esses valores não disponíveis foi feita uma adaptação da metodologia proposta por Carmona et al., (2016). Uma função de densidade de probabilidade para cada traço que estava faltando foi construída a partir dos dados coletados em campo. Essas funções foram elaboradas considerando apenas o traço de determinada espécie em determinado ponto de elevação, de modo que uma distribuição que refletisse os valores de traços que determinada espécie apresenta em determinada faixa de altitude pudesse ser obtida. Após essa etapa, foi amostrada, de cada uma dessas distribuições, uma quantidade de valores igual ao número de indivíduos (da determinada espécie naquela determinada altitude) que tinham valores de traços faltando. Essa abordagem é interessante, pois nesse caso não só a média e desvio padrão dos traços estão disponíveis, mas todos os possíveis valores e a frequência de ocorrência de cada um deles, o que permite que essas distribuições forneçam valores mais prováveis de estarem presentes na comunidade.

### **Análise de dados**

Para avaliar como a diversidade funcional das comunidades é afetada pela altitude, o índice de entropia quadrática de Rao (RaoQ) foi usado (Botta-Dukát, 2005; Ricotta and Moretti, 2011). Esse índice calcula a distância média de todos os possíveis pares de indivíduos com base em seus traços funcionais, sendo desse modo uma medida de dispersão funcional. Foi usada a distância de Gower para calcular esse índice, uma vez que nosso conjunto de traços inclui traços contínuos e categóricos (Podani and Schmera, 2006). RaoQ foi calculada no pacote PICANTE do R (R Development Core Team, 2010).

Para avaliar como traços individuais são afetados pelo gradiente, foi calculada a média ponderada da comunidade - CWM (Garnier et al., 2004; Ricotta and Moretti, 2011) -

de cada traço para cada ponto amostral. Essa métrica fornece o valor médio de um traço para determinada unidade biológica, ponderado pela abundância relativa de cada valor de traço presente nesta unidade, e representa assim os valores dominantes desse traço nessa unidade, permitindo a verificação de como tais traços variam nos gradientes. A CWM foi calculada pelo pacote FD do R (R Development Core Team, 2010).

Após essas etapas foram usados modelos lineares generalizados (GLMs) para avaliar como a variável explicativa utilizada aqui (elevação) afeta cada uma das variáveis respostas (RaoQ e CWM) das diferentes parcelas da comunidade de morcegos. Primeiramente, foi avaliada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk, e em todos os modelos, foi avaliada a presença de sobredispersão dividindo o desvio dos resíduos pelos graus de liberdade. Das oito variáveis respostas aqui avaliadas (CWMs dos tipos de dieta não foram considerados aqui, pois para esse traço essa métrica fornece o tipo de dieta dominante na amostra), apenas duas foram significativas para o teste de Shapiro-Wilk, indicando não-normalidade (CWM<sub>mass</sub> para a parcela de sub-bosque e CWM<sub>wingl</sub> para a parcela de áreas abertas). Contudo, após observar as funções de densidade de probabilidade de cada uma dessas variáveis, percebeu-se que a não normalidade nesses casos foi devida a presença de *outliers*. Sendo assim, os *outliers* de cada variável foram removidos, sendo que para CWM<sub>wingl</sub>, variável com maior número de *outliers*, foram removidos quatro pontos amostrais, até que a normalidade fosse obtida (teste de Shapiro  $\geq 0.05$ ).

Uma vez que a CWM para tipo de dieta fornece apenas informação sobre qual guilda alimentar dominante em determinado local, optou-se aqui por fazer um modelo considerando os efeitos da elevação sobre o número de guildas alimentares presentes. Esse modelo foi feito apenas para a parcela de sub-bosque, uma vez que para morcegos de áreas abertas apenas um tipo de dieta foi observado em todos pontos amostrais. O modelo da relação entre elevação e número de guildas alimentares seguiu a distribuição de *quasi-Poisson*.

Também foi avaliada a presença de possíveis pontos de quebra nos modelos. O teste de Dave foi usado para avaliar a presença de uma relação não linear, e um modelo segmentado foi usado para localizar o ponto de quebra quando o teste de Dave foi significativo ( $p \leq 0.05$ ). Após esse procedimento, verificou-se o ajuste de cada modelo (segmentado e não segmentado) através dos valores do critério de informação de Akaike corrigido (AICc), o qual é indicado para amostras pequenas ( $n < 40$ ). Uma vez que para esse

critério valores menores indicam maior poder de explicação, foram selecionados aqui os modelos com menores valores de AICc. Para todas as análises, adotou-se o valor de significância como  $p \leq 0.05$ .

## Resultados

O esforço amostral no sub-bosque usando redes-de-neblina foi de 576 m<sup>2</sup>/h para cada ponto amostral e 9.792 m<sup>2</sup>/h para todo o estudo. Foram capturados um total de 399 indivíduos de 23 espécies (material suplementar) e todos foram incluídos nas análises para a parcela da comunidade de morcegos no sub-bosque. Como em um ponto amostral não houve capturas por este método, foram incluídos 16 pontos nas análises para a comunidade de sub-bosque.

O esforço amostral para comunidade em áreas abertas utilizando detector de ultrassom totalizou duas horas e 10 minutos em cada ponto amostral e 36 horas e 50 minutos em todo o estudo. Como em três pontos amostrais não houve registros de morcegos ou as vocalizações registradas não eram identificáveis, as análises para essa parte da comunidade foram feitas para 14 pontos. Espécies/grupos acústicos registrados e seus respectivos traços são mostrados no material suplementar.

As métricas funcionais avaliadas mostraram diferentes relações com elevação para cada parte da comunidade. RaoQ mostrou relação negativa com elevação apenas para a parcela de sub-bosque (Figura 2), enquanto que os morcegos de áreas abertas não tiveram sua diversidade funcional afetada por essa variável. É importante comentar aqui que para a parcela de sub-bosque o ponto amostral de 1800m foi mantido, pois apesar de ser um *outlier*, considerou-se que esse valor representa a diversidade funcional dessa parcela da comunidade nessa faixa de elevação.

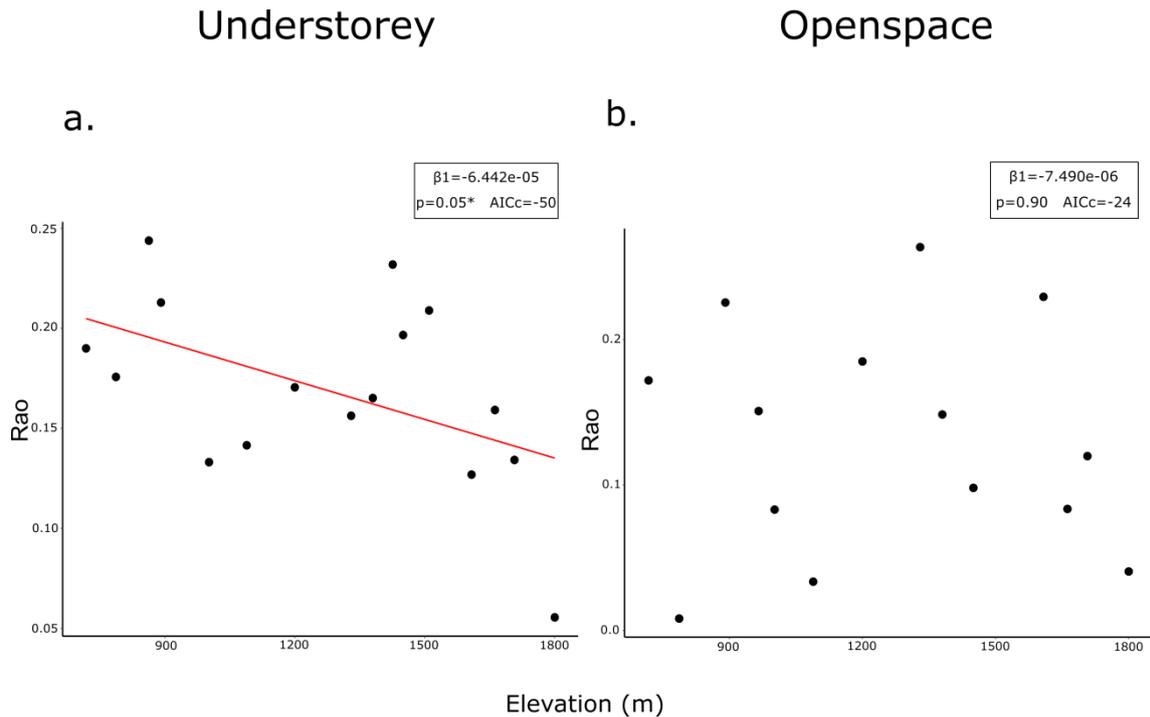


Figura 2. Relação do RaoQ com elevação para cada parte da comunidade (**a.** sub-bosque; **b.** área aberta). Caixas no canto superior direito de cada gráfico mostram a inclinação dos modelos, valores de  $p$  e AICc. Asteriscos indicam relação significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Já com relação às medidas de CWM, puderam ser observadas respostas bastante distintas à elevação para cada parcela da comunidade (Figura 3). Para ambas as parcelas, a *aspect ratio* foi significativamente relacionado à elevação. Morcegos de sub-bosque mostraram um aumento linear desse traço até elevações intermediárias, seguido de um efeito negativo com força similar à qual estava aumentando antes do ponto de quebra. Por outro lado, CWM da *aspect ratio* para morcegos de áreas abertas mostrou uma relação negativa linear com elevação, sendo também significativa ( $p \leq 0.05$ ). Para os outros traços, métricas de CWM foram significativas apenas para uma das parcelas da comunidade. CWM da massa corporal foi significativa apenas para os animais de sub-bosque, aumentando linearmente com a elevação. CWM da *wing loading* esteve significativamente relacionada com elevação apenas para as espécies de áreas abertas, sendo afetada negativamente por esta.

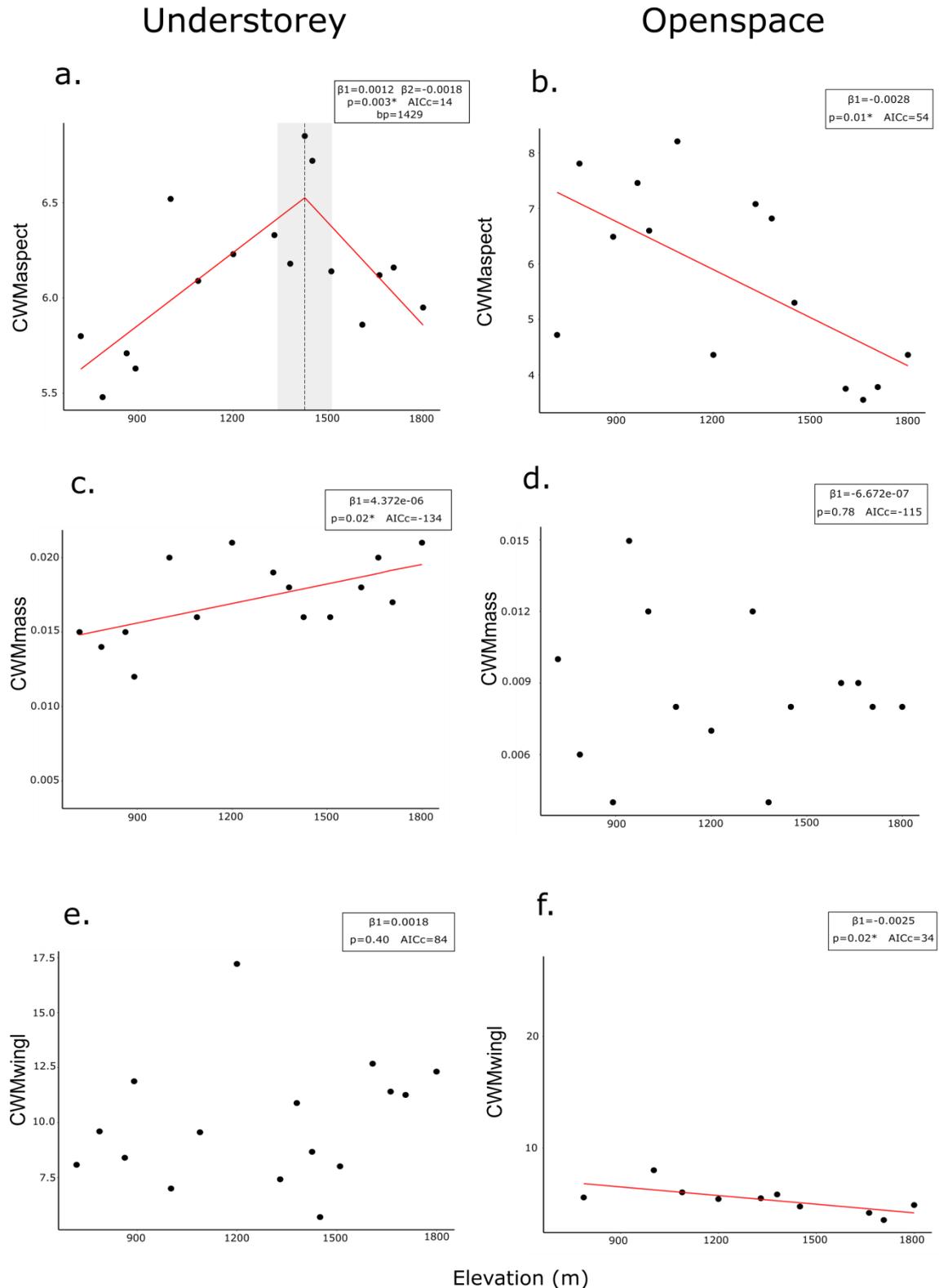


Figura 3. Relação dos índices de CWM com relação à elevação, para comunidade de sub-bosque (a., c. e e.) e área aberta (b., d. e f.). Linhas tracejadas representam ponto de quebra, com intervalo de confiança de 95% em cinza claro. Caixas no canto superior direito de cada gráfico mostram a inclinação dos modelos, valores de  $p$ , AICc e ponto de quebra (bp). Asteriscos indicam relação significativa ( $p \leq 0.05$ ). Aspect – aspect ratio, Mass – massa corporal, Wingl – wing loading.

CWM da dieta foi a única medida que mostrou resultados similares para ambas as parcelas da comunidade. Para a comunidade de sub-bosque, apenas em um ponto frugívoros não foram o grupo alimentar dominante, mas tiveram a mesma proporção do grupo dominante daquele local. Para a comunidade de área aberta, os insetívoros foram o único grupo presente em todos os pontos amostrais. No que diz respeito à quantidade de tipos de dieta presentes na parcela de sub-bosque, foi observada uma relação negativa com elevação, onde pontos com altitudes mais baixas apresentaram maior quantidade de tipos de dieta (Figura 4).

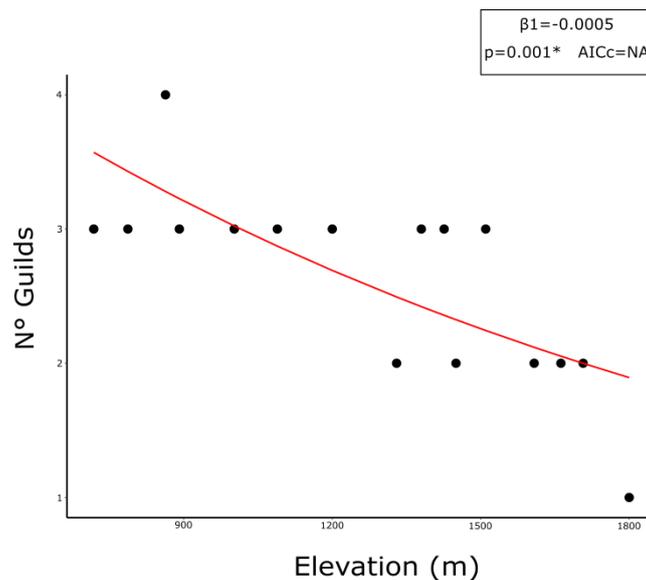


Figura 4. Relação do número de guildas alimentares com elevação, para a parcela de sub-bosque. Caixa no canto superior direito do gráfico mostra a inclinação do modelo, valor de  $p$  e AICc. Asterisco indica relação significativa ( $p \leq 0.05$ ).

## Discussão

Os resultados encontrados aqui evidenciam que há duas estruturas na comunidade de morcegos respondendo distintamente à elevação. Isso poderia ser explicado por diferentes pressões seletivas que moldam essas assembleias. Por exemplo, morcegos de sub-bosque são afetados principalmente pela estrutura da vegetação e disponibilidade de recursos como flores, frutos e insetos que são catados na mesma (Avilla-Cabadilla et al., 2012). Por outro lado, morcegos de áreas abertas são afetados pela disponibilidade de insetos voadores e pela estrutura (altura e obstrução) da vegetação (Muller et al., 2012). Uma vez que o gradiente elevacional pode incluir variações nesses fatores, tais como a estrutura da vegetação (Jankowski et al., 2012), e a abundância de artrópodes (Poveda et al.,

2012), espera-se que mudanças nos traços e diversidades funcionais dessas comunidades sejam causadas principalmente por mudanças nesses fatores bióticos, e por diferentes níveis de tolerância fisiológica que cada comunidade apresenta a condições extremas, como baixas temperaturas e umidade. Como essas duas parcelas da comunidade exploram recursos de maneira diferente, é esperado que uma determinada variação ambiental cause efeitos distintos sobre os aspectos funcionais de cada parcela.

Os resultados encontrados nesse trabalho e em estudos anteriores convergem na percepção que fatores bióticos são importantes agentes afetando os traços funcionais das comunidades (Cohen et al., 2014; Dehling et al., 2014; Maglianesi et al., 2015). Por exemplo, já foi observado que traços funcionais de abelhas podem ser significativamente afetados pelo estágio de sucessão após queimada (Ricotta and Moretti, 2011), e um efeito significativo dos traços funcionais das comunidades de plantas sobre o desenvolvimento de larvas de anfíbios e distribuição de insetos herbívoros também já foi encontrado (Cohen et al., 2014; Sonnemann et al., 2015), o que evidencia o efeito que fatores bióticos (ex. diferentes comunidades vegetais) podem ter sobre os traços funcionais e outras características das comunidades. Uma vez que elevações abrangem variações nesses fatores, é possível que para morcegos de áreas abertas, a baixa densidade de insetos voando em altitudes elevadas estimule a comunidade a forragear mais perto da vegetação, uma vez que essa assembleia mostra respostas agregativas à disponibilidade de insetos (Muller et al., 2012). Isso causaria na comunidade de áreas abertas uma pressão seletiva que estimularia a ocorrência de *wing loadings* menores nessas elevações, conferindo maior manobrabilidade e permitindo que indivíduos explorem a borda da vegetação (Norberg and Rayner, 1987), as quais são mais ricas em insetos do que o espaço aberto (Muller et al., 2012). Por outro lado, o traço *wing loading* de morcegos de sub-bosque pode não ser afetado, se as variações espaciais ao longo da elevação não exercem pressões seletivas com força suficiente para selecionar diferentes tipos de asa em cada faixa, fazendo com que a elevação não tenha efeito sobre esse traço para essa parcela. Apesar desses efeitos não terem sido verificados nesse trabalho, essas são possíveis hipóteses que justificam os resultados encontrados aqui, onde cada parcela da comunidade exhibe respostas distintas ao mesmo gradiente.

*Aspect ratio* foi o único traço funcional significativamente afetado pela elevação nas duas parcelas da comunidade, apresentando uma relação complexa para a comunidade de sub-bosque. Enquanto a comunidade de áreas abertas mostrou uma relação linear negativa simples com elevação, a comunidade de sub-bosque mostrou uma relação não linear, com

um aumento desse traço em direção às altitudes intermediárias, seguido de uma redução deste conforme a elevação chegava aos pontos mais altos. Estudos anteriores com morcegos têm mostrado que esse traço funcional tem relação com variáveis da vegetação (Hanspach et al., 2012; Farneda et al., 2015; Wordley et al., 2017), tais como tipo de habitat e densidade de árvores. Sendo assim, considera-se que os resultados observados aqui também refletem mudanças na complexidade estrutural da vegetação ao longo do gradiente. Os resultados encontrados aqui reforçam o de estudos anteriores, os quais consideram esse traço como um importante indicador de como morcegos respondem a alterações, uma vez que este é sensível a mudanças na complexidade estrutural do ambiente (Hanspach et al., 2012; Farneda et al., 2015; Wordley et al., 2017). O fato de *aspect ratio* mostrar uma resposta complexa à elevação nesse estudo sugere que uma relação complexa entre estrutura da vegetação e elevação também existe, possivelmente resultada pela ação de diferentes fatores atuando juntamente com elevação. Por exemplo, fatores tanto abióticos quanto antrópicos podem estar afetando a vegetação ao longo do gradiente de diferentes formas, de modo que esta não forme um gradiente contínuo com a elevação. Contudo, apesar dessas hipóteses serem levantadas com base no comportamento de um traço funcional conhecido por responder a essa variável (Farneda et al., 2015), inferências mais precisas a respeito da estrutura da vegetação devem ser feitas com base no monitoramento dessa comunidade.

RaoQ teve relação negativa com elevação apenas para uma das parcelas da comunidade (sub-bosque), enquanto que para a parcela de áreas abertas a relação não foi significativa. Apesar de um dos pontos amostrais ser claramente um *outlier* para os morcegos de sub-bosque (1800m), este foi mantido nas análises, pois considerou-se aqui que este reflete a diversidade funcional dessa parcela nessa faixa de elevação. É possível que exista um ponto de quebra para a relação entre diversidade funcional da parcela de sub-bosque e elevação, onde a partir de determinado ponto a perda de diversidade funcional é mais acentuada. Contudo, como nesse estudo não foi possível amostrar acima dessa faixa de elevação, tal ponto de quebra não foi detectado nas análises.

Os resultados encontrados para RaoQ podem estar relacionados às variações que as espécies de famílias distintas pertencentes a cada parcela apresentam quanto à sua tolerância fisiológica. Estudos anteriores já detectaram que fatores abióticos tais como umidade e temperatura (la Riva et al., 2016) e precipitação (Zhang et al., 2017) podem ter grandes efeitos sobre a diversidade funcional de comunidades. No presente estudo, a

comunidade de morcegos de sub-bosque é representada principalmente por espécies da família Phyllostomidae, os quais são em sua maioria, mais adaptados a climas amenos e quentes (McNab, 1982). Já espécies de áreas abertas, molossídeos e vespertilionídeos, têm ampla ocorrência em regiões temperadas, e conseqüentemente são mais tolerantes a condições com baixas temperaturas. De fato, em altitudes elevadas, as únicas espécies encontradas para a comunidade de sub-bosque foram espécies do gênero *Myotis* e *Sturnira lilium*, o único filostomídeo que tolera as condições de altitudes mais elevadas em nosso estudo, e um dos gêneros mais resistentes a essas condições em estudos fisiológicos (Soriano et al., 2002). Outros filostomídeos resistentes a baixas temperaturas são o hematófago *D. rotundus* e os nectarívoros *Anoura* spp. (Moras et al., 2013; Soriano et al., 2002), espécies também observadas nesse estudo, pelo menos até elevações intermediárias. Tal redução na composição da comunidade reflete significativamente na diversidade funcional, uma vez que apenas espécies com traços específicos, como tolerância a condições extremas, conseguem permanecer na comunidade. Os resultados encontrados aqui para CWM da massa corpórea corroboram com essa ideia, uma vez que apenas para a comunidade de sub-bosque observou-se um efeito positivo da elevação sobre a massa dos indivíduos. De acordo com a regra de Bergmann da termodinâmica, que afirma que organismos com maior relação área/volume perdem maior quantidade de calor para o ambiente (McNab, 1971), seria esperado que comunidades de altitudes mais elevadas apresentassem indivíduos com maior massa corpórea, em geral com dimensões corpóreas maiores e menor relação área/volume.

Os dados aqui obtidos evidenciam que altitudes baixas e medianas abrigam maior diversidade funcional para a comunidade de sub-bosque, mas não para a comunidade de áreas abertas. Provavelmente, condições mais toleráveis nessas faixas de altitude permitem um maior número de espécies funcionalmente distintas, enquanto que altitudes elevadas restringem comunidades a ser compostas por espécies que têm seus recursos disponíveis naqueles ambientes e que apresentam estruturas de asa e tolerâncias fisiológicas semelhantes, caracterizando assim um filtro ambiental, algo também observado em estudos prévios (Cisneiros et al., 2014; Dreiss et al., 2015). Enquanto isso, as comunidades de áreas abertas possuem uma diversidade funcional similar ao longo de todo gradiente, sugerindo que este parece ser tolerado em todas suas faixas.

Apesar da CWM da dieta ter mostrado que os frugívoros são o grupo dominante ao longo de todo o gradiente para as comunidades de sub-bosque, o número de guildas

alimentares para essa parcela variou ao longo do gradiente, sendo negativamente afetado pela elevação. Em elevações baixas e intermediárias, as comunidades são compostas por uma maior quantidade de guildas alimentares (frugívoros, nectarívoros, insetívoros, onívoros e hematófagos), enquanto que altitudes mais elevadas apresentam comunidades compostas apenas por animais frugívoros e poucos insetívoros. Tal resultado reforça a ideia de que além de baixas temperaturas, diferenças na diversidade funcional de recursos vegetais também podem atuar restringindo a diversidade de guildas alimentares apresentadas pelos consumidores, o que conseqüentemente também reduz a diversidade funcional (Dehling et al., 2014; Maglianesi et al., 2015). Os efeitos dessa reduzida diversidade de recursos alimentares, aliado a condições inóspitas como baixas temperaturas representam uma explicação sensata para a perda de diversidade funcional mais acentuada e significativa para a comunidade de sub-bosque, uma vez que esta é mais sensível a essas variações.

Existem algumas diferenças entre os dados das diferentes parcelas da quiroptero fauna analisadas aqui que precisam ser consideradas. A primeira é que para a comunidade de sub-bosque, a variação intraespecífica foi levada em consideração, o que não ocorreu para a assembleia de áreas abertas. Como a variação intraespecífica da diversidade funcional pode ter grandes influências sobre as comunidades (Wood et al., 2017), os modelos para os morcegos de sub-bosque apresentam uma imagem mais refinada do que para os de áreas abertas. Outra diferença é que para a comunidade de áreas abertas, não há dados de abundância devido às limitações do método de amostragem empregado para inventariar essa comunidade. Assim, cada espécie e seus traços foram registrados apenas uma vez para cada ponto amostral, o que obviamente subestima essa assembleia e sua variação. Contudo, o método usado aqui para essa parte da comunidade seguiu a proposta que se baseia em funções de densidade de probabilidade para estimar traços funcionais de espécies com base em registros da literatura, quando medição em campo não é possível (Carmona et al., 2016 para uma revisão). Sendo assim, considerou-se aqui que os modelos obtidos para essa parte da comunidade refletem suas respostas funcionais até o ponto em que as limitações impostas pelo método utilizado permitem.

O padrão de maior diversidade em elevações baixas e intermediárias já é conhecido para riqueza de espécies (McCain, 2007) e diversidade funcional em morcegos (Cisneiros et al., 2014), roedores (Dreiss et al., 2015) e aves (Deehling et al., 2014). Os resultados encontrados nesse estudo reforçam esse padrão somente para uma parte da comunidade,

pois a diversidade funcional das comunidades de áreas abertas mostrou pouca variação ao longo desse gradiente. No geral, comunidades de sub-bosque em elevações menores são compostas por animais menores, que exploram uma maior diversidade de recursos, e com asas que permitem maior capacidade de manobra do que em altitudes elevadas. Já as comunidades de áreas abertas em baixas altitudes são compostas por animais menos manobráveis e mais velozes do que as comunidades de altitudes elevadas, apesar dessas diferenças não terem reflexo direto sobre a diversidade funcional dessa comunidade. Isto mostra a importância de se estudar os morcegos de áreas abertas de modo independente, uma vez que eles podem apresentar respostas diferentes daquelas apresentadas pela comunidade de sub-bosque. Este é o primeiro estudo a considerar aspectos funcionais dessa parcela da comunidade de morcegos na região Neotropical (ver Wordley et al., 2017 para traços acústicos em morcegos na Índia e Hanspach et al., 2012 para aspectos funcionais dessa parcela da comunidade na Austrália).

## **Conclusão**

Comunidades naturais são afetadas por gradientes ambientais de formas distintas. Aqui, evidenciou-se que parcelas de uma comunidade podem exibir diferentes respostas funcionais a gradientes, e que podem ser afetadas por esses gradientes de formas contrastantes. Nosso estudo reporta esses efeitos e sugere que estudos dentro da perspectiva funcional devem considerar que comunidades de morcegos (e outros grupos biológicos) são compostas por um pool complexo de espécies, com táxons funcionalmente distintos sendo afetados por forças distintas. Assim, estudos funcionais com comunidades devem considerar uma parcela mais abrangente, sempre que possível, dos organismos que as compõe, ou focar suas investigações na assembleia efetivamente estudada.

## **Agradecimentos**

Nós agradecemos à Erica Hasui, Rodrigo Fagundes Braga, e Debora Guimarães Apgaua pelas contribuições sobre o tema, e Luis Fernando Silva Magnano e Rafael Dudeque Zenni pelo auxílio nas análises. Agradecemos ao Exército Brasileiro, a prefeitura de Pindamonhangaba e à Débora Mascarenhas, da Fazenda Renópolis, pela permissão de estudo nas áreas sob sua supervisão e apoio logístico. MCSM também é grato à equipe criadora do

software Raven, por terem cedido uma licença gratuita de seu produto. Esse estudo foi parcialmente fomentado pela CAPES.

## Referências

- Avilla-Cabadilla, L.D., Sanchez-Azofeifa, G.A., Stoner, K.E., Alvarez-Añorve, M.Y., Quesada, M., Portillo-Quintero, C.A., 2012. Local and landscape factors determining occurrence of Phyllostomid bats in tropical secondary forests. *Plos One*, 7(4): e35228.
- Baird, A.B., Braun, J.K., Mares, M.A., Morales, J.C., Patton, J.C., Tran, C.Q., Bickham, J.W., 2015. Molecular systematic revision of tree bats (Lasiurini): doubling the native mammals of Hawaiian islands. *Journal of Mammalogy*, 96(6): 1255-1274.
- Bohm, S. M., Wells, K., Kalko, E. K. V., 2011. Top-down control of herbivory by birds and bats in the canopy of temperate broad-leaved oaks (*Quercus robur*). *Plos One*, 6 (4): e17857.
- Botta-Dukát, Z., 2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science*, 16(5): 533-540.
- Brehm, G., Colwell, R.K., Kluge, J., 2007. The role of environment and mid-domain effect on moth species richness along a tropical elevational gradient. *Global Ecology and Biogeography*, 16(2): 205-219.
- Cadotte, M.W., Carscadden, K., Mirotchnick, N., 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, 48(5): 1079-1087.
- Carmona, C.P., De Bello, F., Mason, N.W.H., Leps, J., 2016. Traits Without Borders: Integrating Functional Diversity Across Scales. *Trends in Ecology and Evolution*, 31(5): 382-394.
- Cisneiros, L.M., Burgio, K.R., Dreiss, L.M., Klingbeil, B.T., Patterson, B.D., Presley, S.J., Willig, M.R., 2014. Multiple dimensions of bat biodiversity along an extensive tropical elevational gradient. *Journal of Animal Ecology*, 83(5): 1124-1136.
- Cisneiros, L.M., Fagan, M.E., Willig, M.R., 2016. Environmental and spatial drivers of taxonomic, functional and phylogenetic characteristics of bat communities in human-modified

landscapes. *Peer J*, 4: e2551.

Cohen, J.S., Rainford, S.K.D., Blossey, B., 2014. Community-weighted mean functional effect traits determine larval amphibian responses to litters mixtures. *Oecologia*, 174(4): 1359-1366.

Dehling, D.M., Fritz, S.A., Topfer, T., Packert, M., Estler, P., Bohning-Gaese, K., Schleuning, M., 2014. Functional and phylogenetic diversity and assemblage structure of frugivorous birds along an elevational gradient in the tropical Andes. *Ecography*, 37(11): 001-009.

Dreiss, L.M., Burgio, K.R., Cisneiros, L.M., Klingbeil, B.T., Patterson, B.D., Presley, S.J., Willig, M.R., 2015. Taxonomic, functional, and phylogenetic dimensions of rodent biodiversity along an extensive tropical elevational gradient. *Ecography*, 38(9): 001-013.

Farneda, F.Z., Rocha, R., López-Baucells, A., Groenenberg, M., Silva, I., Palmeirim, J.M., Bobrowiec, P.E.D., Meyer, C.F.J., 2015. Trait-related responses to habitat fragmentation in Amazonian bats. *Journal of Applied Ecology*, 52(5): 1381-1391.

García-Morales, R., Moreno, C.E., Badano, E.I., Zuria, I., Galindo-González, J., Rojas-Martínez, A.E., Ávila-Gómez, E.S., 2016. Deforestation impacts on bat functional diversity in tropical landscapes. *Plos One*, 11(12): e0166765.

Gardner, A.L., 2008. *Mammals of South America, Volume 1: Marsupials, Xenarthrans, Shrews and Bats*. The University of Chicago Press, Chicago. 2007.

Garnier, E., Cortez, J., Billes, G., Navas, M.L., Roumet, C., Debussche, M., Laurent, G., Blanchard, A., Aubry, D., Bellmann, A., Neill, C., Toussaint, J.P., 2004. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85(9): 2630–2637.

Ghanem, S.J., Voigt, C.C., 2012. Increasing Awareness of Ecosystem Services Provided by Bats. *In: Advances in the Study of Behavior* (H. Jane Brockmann, T. J. Roper, M. Naguib, J. C. Mitani, L. W. Simmons, eds). Vol. 44, Burlington: Academic Press, 2012. p. 279-302.

Grytnes, J.A., Vetaas, O.R., 2002. Species richness and altitude: a comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *The American Naturalist*, 159(3): 294-304.

- Hansen, A.J., Knight, R.L., Marzluff, J.M., Powell, S., Brown, K., Gude, P.H., Jones, K., 2005. Effects of exurban development on biodiversity: patterns, mechanisms, and research needs. *Ecological Applications*, 15(6): 1893–1905.
- Hanspach, J., Fischer, J., Ikin, K., Stott, J., Law, B.S., 2012. Using trait-based filtering as a predictive framework for conservation: a case study of bats on farms in southeastern Australia. *Journal of Applied Ecology*, 49(4): 842-850.
- Hintze, F.S.O., Pereira, M.J.R., Aguillar, A., 2016. Morcegos neotropicais: variáveis identificativas. Programa de Pesquisa em Biodiversidade, PPBio.
- IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. ISSN 0103-9598, Rio de Janeiro.
- Jankowski, J.E., Merkord, C.L., Rios, W.F., Cabrera, K.G., Revilla, N.S., Silman, M.R., 2012. The relationship of tropical bird communities to tree species composition and vegetation structure along an Andean elevational gradient. *Journal of Biogeography*, 40(5): 950-962.
- Jung, K., Kalko, E.K.V., Helversen, O., 2007. Echolocation calls in Central American emballonurid bats: signal design and call frequency alternation. *Journal of Zoology*, 272(2): 125-137.
- Jung, K., Molinari, J., Kalko, E.K.V., 2014. Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in New World free-tailed bats (Molossidae). *Plos One*, 9(1): e85279.
- Kunz, T.H., Fenton, M.B. (eds.), 2003. *Bat ecology*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 779 p.
- Kunz, T.H., Torrez, E.B., Bauer, D., Lobova, T., Fleming, T.H., 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals New York Academy of Science*, 1223(2011): 1-38.
- La Riva, E.G., Lloret, F., Pérez-Ramos, I.M., Marañón, T., Saura-Mas, S., Díaz-Delgado, R., Villar, R., 2016. The importance of functional diversity in the stability of Mediterranean shrubland communities after the impact of extreme climatic events. *Journal of Plant Ecology*, 10(2): 281-293.
- Lloyd, A., Law, B., Goldingay, R., 2006. Bat activity on riparian zones and upper slopes in Australian timber production forests and the effectiveness of riparian buffers. *Biological Conservation*, 129(2006): 207-220.

- López-Baucells, A., Rocha, R., Bobrowiec, P., Bernard, E., Palmeirim, J., Meyer, C., 2016. Field guide to Amazonian bats. Manaus, Editora INPA, 2016. 168p.
- Maglianesi, M.A., Bluthgen, N., Bohning-Gaese, K., Schleuning, M., 2015. Functional structure and specialization in three tropical plant-hummingbird interaction networks across an elevational gradient in Costa Rica. *Ecography*, 38(11): 001-010.
- McCain, C. M., 2007. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1): 1-13.
- McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E., Westoby, M., 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(4): 178-185.
- McNab, B.K., 1971. On the ecological significance of Bergmann's rule. *Ecology*, 52(5): 845-854.
- McNab, B.K., 1982. Evolutionary Alternatives in the Physiological Ecology of Bats. *In*: T. H. Kunz (ed.). *Ecology of Bats*, Plenum Publishing Corporation, 1982. Pp 151-200.
- Muller, J., Mehr, M., Bassler, C., Brock Fenton, M., Hothorn, T., Pretzsch, H., Klemmt, H.J., Brandl, R., 2012. Aggregative response in bats: prey abundance versus habitat. *Oecologia*, 169(3): 673-684.
- Moras, L.M., Bernard, E. Gregorin, R., 2013. Bat assemblages at a high-altitude area in the atlantic forest of southeaster Brazil. *Mastozoologia neotropical*, 20(2): 269-278.
- Munguía, M., Trejo, I., González-Salazar, C., Pérez-Maqueo, O., 2016. Human impact gradient on mammalian biodiversity. *Global Ecology and Conservation*, 6: 79-92.
- Muscarella, R., Fleming, T.H., 2007. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. *Biological Reviews*, 82(4): 573-590.
- Norberg, U.M., Rayner, J.M.V., 1987. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia, Chiroptera): Wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of Royal Society of London B*, 316(1179): 335-427.
- Nunes, C.A., Braga, R.F., Figueira, J.E.C., Neves, F.S., Fernandes, G.W., 2016. Dung Beetles along a tropical altitudinal gradient: environmental filtering on taxonomic and functional diversity. *Plos One*, 11(6): e0157442.

- O'Farrell, M.J., Gannon, W.L., 1999. A comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats. *Journal of Mammalogy*, 80(1): 24-30.
- Pavoine, S., Bonsall, M.B., 2011. Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach. *Biological Reviews*, 86(4): 792-812.
- Petchey, O.L., Gaston, K.J., 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9(6): 741-758.
- Pianka, E.R., 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *The American Naturalist*, 100(910): 33-46.
- Podani, J., Schmera, D., 2006. On dendrogram-based measures of functional diversity. *Oikos*, 115(1): 179-185.
- Poveda, K., Martínez, E., Kersch-Becker, M.F., Bonilla, M.A., Tschardtke, T., 2012. Landscape simplification and altitude affect biodiversity, herbivory and Andean potato yield. *Journal of applied ecology*, 49(2): 513-522.
- Reis, N.R., Peracchi, A.L., Pedro, W.A., Lima, I.P., 2007. *Morcegos do Brasil*. Londrina, Nélio Roberto Reis, 2007. 253 p.
- Ricotta, C., Moretti, M., 2011. CWM and Rao's quadratic diversity: a unified framework for functional ecology. *Oecologia*, 167(1): 181-188.
- Rydell, J., Arita, H.T., Santos, M., Granados, J., 2002. Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatán, México. *Journal of Zoology*, 257(1): 27-36.
- Sampaio, E.M., Kalko, E.K.V., Bernard, E., Rodríguez-Herrera, B., Handley, C.O., 2003. A biodiversity assessment of bats (Chiroptera) in a tropical lowland rainforest of central Amazonia, including methodological and conservation considerations. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 38(1): 17-31.
- Schnitzler, H.U., Kalko, E.K.V., 2001. Echolocation by insect-eating bats: we define four distinct functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical echolocation tasks faced by each group. *BioScience*, 51(7): 557-569.
- Simmons, N.B., 2005. Order Chiroptera. *In: Mammal Species of the World* (D.E. Wilson and D.M. Reeder, eds.). pp. 312-529. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA, 2005.

- Sonnermann, I., Pfestorf, H., Jeltsch, F., Wurst, S., 2015. Community-weighted mean plant traits predict small scale distribution of insect root herbivore abundance. *Plos One*, 10(10): e141148.
- Soriano, P.J., 2000. Functional Structure of Bat Communities in Tropical Rainforests and Andean Cloud Forests. *Ecotropicos*, 13(1): 1-20.
- Soriano, P.J., Ruiz, A., Arends, A., 2002. Physiological responses to ambient temperature manipulation by three species of bats from Andean cloud forests. *Journal of Mammalogy*, 83(2): 445-457.
- Trejo-Salazar, R.E., Eguiarte, L.E., Suro-Piñera, D., Medellín, R.A., 2016. Save our bats, save our tequila: industry and science join forces to help bats and agaves. *Natural Areas Journal*, 36(4): 523-530.
- Violle, C., Navas, M.L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E., 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5): 882-892.
- Willig, M.R., Presley, S.J., Bloch, C.P., Castro-Arellano, I., Cisneiros, L.M., Higgins, C.L., Klingbeil, B.T., 2011. Tropical metacommunities along elevational gradients: effects of forest type and other environmental factors. *Oikos*, 120(10): 1497-1508.
- Wood, C.M., McKinney, S.T., Loftin, C.S., 2017. Intraspecific functional diversity of common species enhances community stability. *Ecology and Evolution*, 7(5): 1553-1560.
- Wordley, C.F.R., Sankaran, M., Mudappa, D., Altringham, J.D., 2017. Bats in the Ghats: agricultural intensification reduces functional diversity and increases trait filtering in a biodiversity hotspot in India. *Biological Conservation*, 210: 48-55.
- Zhang, Q., Buyantuev, A., Li, F.Y., Jiang, L., Niu, J., Ding, Y., Kang, S., Ma, W., 2017. Functional dominance rather than taxonomic diversity and functional diversity mainly affects community aboveground biomass in the Inner Mongolia grassland. *Ecology and Evolution*, 7(5): 1605-1615.

### Material suplementar

Tabela 1. Coordenadas geográficas precisas, altitudes e localizadas de cada ponto amostral desse estudo. Números seguem como na figura 1. Abreviações: MG – Minas Gerais, SP – São Paulo.

Code	Coordinates		Elevation (m)	Locality
	Lat y	Long x		
1	22° 50' 37" S	45° 30' 57" W	718	Pindamonhangaba - SP
2	22° 50' 11" S	45° 31' 24" W	787	Pindamonhangaba - SP
3	22° 36' 07" S	45° 13' 13" W	860	Piquete - SP
4	22° 36' 01" S	45° 13' 16" W	892	Piquete - SP
5	22° 49' 36" S	45° 31' 34" W	966	Pindamonhangaba - SP
6	22° 35' 39" S	45° 13' 50" W	1002	Piquete - SP
7	22° 49' 26" S	45° 31' 35" W	1089	Pindamonhangaba - SP
8	22° 48' 20" S	45° 38' 05" W	1208	Santo Antônio do Pinhal - SP
9	22° 48' 17" S	45° 37' 33" W	1332	Santo Antônio do Pinhal - SP
10	22° 48' 20" S	45° 37' 23" W	1380	Santo Antônio do Pinhal - SP
11	22° 48' 20" S	45° 37' 17" W	1424	Santo Antônio do Pinhal - SP
12	22° 34' 10" S	45° 13' 31" W	1455	Delfim Moreira - MG
13	22° 48' 15" S	45° 37' 08" W	1510	Santo Antônio do Pinhal - SP
14	22° 48' 13" S	45° 37' 01" W	1607	Santo Antônio do Pinhal - SP
15	22° 36' 29" S	45° 20' 44" W	1662	Wenceslau Braz - MG
16	22° 36' 29" S	45° 20' 31" W	1710	Wenceslau Braz - MG
17	22° 36' 53" S	45° 21' 24" W	1800	Wenceslau Braz - MG

Tabela 2. Espécies e grupos acústicos de morcegos registrados com detector de ultrassom nesse estudo (tratados como “comunidade de área aberta”), seguidos por seus traços funcionais obtidos da literatura. Número de coleção (CMUFLA) dos espécimes medidos para *E. furinalis*: CMUFLA 2174, 2345, 470, 468, 2484 e *E. chiriquinus*: CMUFLA 510.

Táxon	Mass	WingL	AspectR	Nº ind	Reference
<b>Molossidae</b>					
<i>Eumops</i> sp.1	-	-	-	-	-
<i>Eumops</i> sp.2	-	-	-	-	-
Molossidae sp.1	-	-	-	-	-
Molossidae sp.2	-	-	-	-	-
<i>Molossus</i> sp.	-	-	-	-	-
<i>Molossus currentium</i>	17.7 ( $\pm 2.4$ )	22.1 ( $\pm 2.8$ )	10.43 ( $\pm 0.98$ )	11	Voight, 2011.
<i>Molossus molossus</i>	18.7 ( $\pm 1.2$ )	17.3 ( $\pm 1.7$ )	8.2 ( $\pm 0.5$ )	21	Emrich, 2014.
<i>Molossus rufus/Nyctinomops laticaudatus</i>	-	-	-	-	-
<i>Promops centralis</i>	-	-	-	-	-
<b>Vespertilionidae</b>					
<i>Eptesicus brasiliensis</i>	0.005 ( $\pm 0.001$ )	4.0 ( $\pm 1.27$ )	3.75 ( $\pm 0.6$ )	2	Bocchiglieri, 2000.
<i>Eptesicus chiriquinus</i>	0.012	14.1	5.4	1	CMUFLA
<i>Eptesicus furinalis</i>	0.007	11.9 ( $\pm 0.63$ )	5.76 ( $\pm 0.29$ )	5	CMUFLA
<i>Eptesicus</i> sp.	-	-	-	-	-
<i>Lasiurus blossevilli</i>	0.008 ( $\pm 0.001$ )	6.12 ( $\pm 1.84$ )	5.68 ( $\pm 1.85$ )	6	Bocchiglieri, 2000.
<i>Dasypterus ega/Aeorestes egregius*</i>	13 ( $\pm 2.82$ )	5.6 ( $\pm 0.31$ )	8.13 ( $\pm 0.48$ )	2	López-Baucells, 2014.
<i>Myotis nigricans</i>	0.006	5.87 ( $\pm 0.58$ )	6.17 ( $\pm 0.66$ )	3	This study
<i>Myotis riparius</i>	0.004 ( $\pm 0.001$ )	5.30 ( $\pm 0.82$ )	6.42 ( $\pm 0.42$ )	11	This study
<i>Myotis</i> sp.1	-	-	-	-	-
<i>Myotis</i> sp.2	-	-	-	-	-
Vespertilionidae sp.1	-	-	-	-	-

\*Conhecidos anteriormente como *Lasiurus ega* e *L. egregius*, respectivamente.

Tabela 3. Espécies de morcegos registrados com redes de neblina nesse estudo (tratadas como “comunidade de sub-bosque”), seguidas por seus números de indivíduos capturados.

Táxon	N
<b>Molossidae</b>	
<i>Molossops neglectus</i>	1
<b>Phyllostomidae</b>	
<i>Anoura caudifer</i>	17
<i>Anoura geoffroyi</i>	15
<i>Artibeus fimbriatus</i>	6
<i>Artibeus lituratus</i>	22
<i>Artibeus planirostris</i>	27
<i>Carollia perspicillata</i>	101
<i>Chrotopterus auritus</i>	1
<i>Desmodus rotundus</i>	10
<i>Glossophaga soricina</i>	16
<i>Micronycteris megalotis</i>	2
<i>Phyllostomus hastatus</i>	1
<i>Platyrrhinus lineatus</i>	3
<i>Platyrrhinus recifinus</i>	1
<i>Pygoderma bilabiatum</i>	3
<i>Sturnira lilium</i>	146
<i>Vampyressa pusilla</i>	2
<b>Vespertilionidae</b>	
<i>Eptesicus</i> sp.	1
<i>Myotis</i> sp.	1
<i>Myotis ruber</i>	1
<i>Myotis nigricans</i>	3
<i>Myotis riparius</i>	11
<i>Myotis levis</i>	8

### Referências Suplementares

Bocchiglieri, A., 2000. Caracterização do vôo e ecomorfologia alar de uma comunidade de morcegos (Mammalia: Chiroptera) do jardim botânico de Brasília, D. F. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2000. 49p.

Emrich, M.A., Clare, E.L., Symondson, W.O., Koenig, S.E., Fenton, M.B., 2014. Resource partitioning by insectivorous bats. *Molecular Ecology*, 23(15): 3648-3656.

López-Baucells, A., Rocha, R., Fernández-Arellano, G., Bobrowiec, P.E.D., Palmeirim, J.M., Meyer, C.F.J., 2014. Echolocation of the big red bat *Lasiurus egregius* (Chiroptera: Vespertilionidae) and the first record from the Central Amazon. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 49(1): 18-25.

Voight, C.C., Holderied, M.W., 2012. High maneuvering costs force narrow-winged molossid bats to forage in open space. *Journal of Comparative Physiology B*, 182(3): 415-424.