

PROPRIEDADES DA VEGETAÇÃO PREDIZEM A BIODIVERSIDADE DAS ABELHAS ORQUÍDEAS NO ESTADO DO MARANHÃO

¹Michele Batista Vale; ²Rayssa Lopes Matos; ³Igor Rychardson da Silva Neves; ⁴July Ana Ferreira Araujo; ⁵Lays Cristina Da Silva Gomes; ⁶Leonardo Dominici Cruz.

RESUMO: As abelhas da tribo Euglossini estão distribuídas em 5 gêneros: *Aglae*, *Euglossa*, *Eulaema*, *Eufriesea* e *Exaerete*. Elas possuem mais de 60 espécies e exercem um papel fundamental na polinização de angiosperma, incluindo as orquídeas, por isso, são conhecidas como abelhas-das-orquídeas. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar a relação entre as propriedades da vegetação e a diversidade das abelhas-das-orquídeas no Estado do Maranhão. Os dados de riqueza foram obtidos a partir da literatura, sendo os critérios de inclusão os trabalhos com duração de um ano e que usaram no mínimo quatro iscas para a captura das abelhas. A produtividade vegetal foi analisada por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a heterogeneidade espacial, baseou-se em métricas de textura de imagem de primeira e segunda ordem. Os testes estatísticos foram feitos por modelos aditivos generalizados (GAM) com uma distribuição de erro de Poisson e o critério de informação de Akaike corrigido para amostras pequenas (AICc). A floresta Amazônica foi o habitat com a maior riqueza de espécies das Euglossini. A análise GAM demonstrou que áreas com maior vegetação apresentaram maior diversidade de abelhas. Porém, foi observado que a heterogeneidade espacial do NDVI impacta negativamente a presença desses organismos. Portanto, concluímos que a vegetação e sua distribuição espacial influenciam diretamente a diversidade de abelhas orquídeas.

PALAVRAS-CHAVE:

Floresta Amazônica 1; Cerrado 2; *Euglossini* 3; Orquídeas 4; Riqueza 5; Maranhão 6.

¹Estudante do Curso de Ciências Biológicas da UFMA do Campus Bacanga. E-mail: michele.batista@discente.ufma.br.

²Estudante do Curso de Ciências Biológicas da UFMA do Campus Bacanga. E-mail: rayssa.lm@discente.ufma.br.

³Estudante do Curso de Ciências Biológicas da UFMA do Campus Bacanga. E-mail: igor.neves@discente.ufma.br.

⁴Estudante do Curso de Ciências Biológicas da UFMA do Campus Bacanga. E-mail: july.ferreira@discente.ufma.br.

⁵Estudante do Curso de Ciências Biológicas da UFMA do Campus Bacanga. E-mail: lays.csg@discente.ufma.br.

⁶Dr. em Zoologia, bacharel e licenciado em Ciências Biológicas do Campus Bacanga. E-mail: leonardo.dominici@ufma.br.

INTRODUÇÃO

A Ordem Hymenoptera compreende grande diversidade de insetos. Ela reúne grupos importantes como as abelhas (Apidea), vespas (Vespidae) e formigas (Formicidae), as quais possuem variações de características relacionadas à ecologia e comportamento de seus grupos, com indivíduos que podem ser solitários, eusociais, semissociais, ectoparasitas ou endoparasitas, nectarívoros, polinívoros ou carnívoros, entre outros aspectos (Teixeira, 2012).

As abelhas da tribo Euglossini, popularmente conhecidas como “abelhas-das-orquídeas”, estão designadas em 5 gêneros: *Aglae*, *Euglossa*, *Eulaema*, *Eufriesea* e *Exaerete*, dispersos em mais de 60 espécies. As abelhas desempenham um papel fundamental como espécies-chave em ambientes naturais e agrícolas, fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais, como a polinização de uma ampla variedade de angiospermas (Roubik, 1989; Klein *et al.*, 2003 ; Borges *et al.*, 2020).

A tribo Euglossini tem distribuição neotropical, abrangendo o sul dos Estados Unidos, México, até o norte da Argentina. As áreas que se destacam com a maior diversidade e abundância na distribuição de Euglossini são as de florestas úmidas preservadas, com predominância em baixas altitudes e latitudes, ambientes antropizados, savanas e áreas de vegetação (Corrêa-Neto *et al.*, 2024).

No contexto do Maranhão, o qual é formado por biomas de Cerrado, Caatinga e Amazônia, é essencial a contribuição dessas abelhas em diferentes modos e biomas. Por esse motivo, o estudo buscou avaliar a relação entre as propriedades da vegetação e a diversidade das abelhas da tribo Euglossini nas cidades de Alcântara, Barreirinhas, Buriticupu, Ilha Cajual, Carutapera, Chapadinha, Mirador e São Luís.

MATERIAIS E MÉTODOS.

2.1. Área de estudo

O estado do Maranhão está localizado na região Nordeste do Brasil (Figura 1), com área de 329.651,496 km² (IBGE, 2021). Três principais fitofisionomias brasileiras são fundadas no estado do Maranhão, a saber, a Floresta Amazônica, a savana neotropical (Cerrado) e a vegetação da Caatinga (IBGE, 2012). Uma extensa floresta de manguezais ocupa o litoral do estado, e regiões continentais periodicamente inundadas por rios de influência marinha também são observadas na região norte do Maranhão. Existem dois regimes climáticos no estado segundo a classificação de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2014), monção tropical (Am) - na região mais ao norte do estado, e

savana tropical (Aw/As) - no restante da área do estado. As temperaturas médias anuais variam de 21°C na região mais sul do estado a 29°C nas localidades mais a sudeste, enquanto a precipitação média anual varia de 700 mm na região mais central do estado a 2.700 mm na região noroeste (Nugeo, 2016).

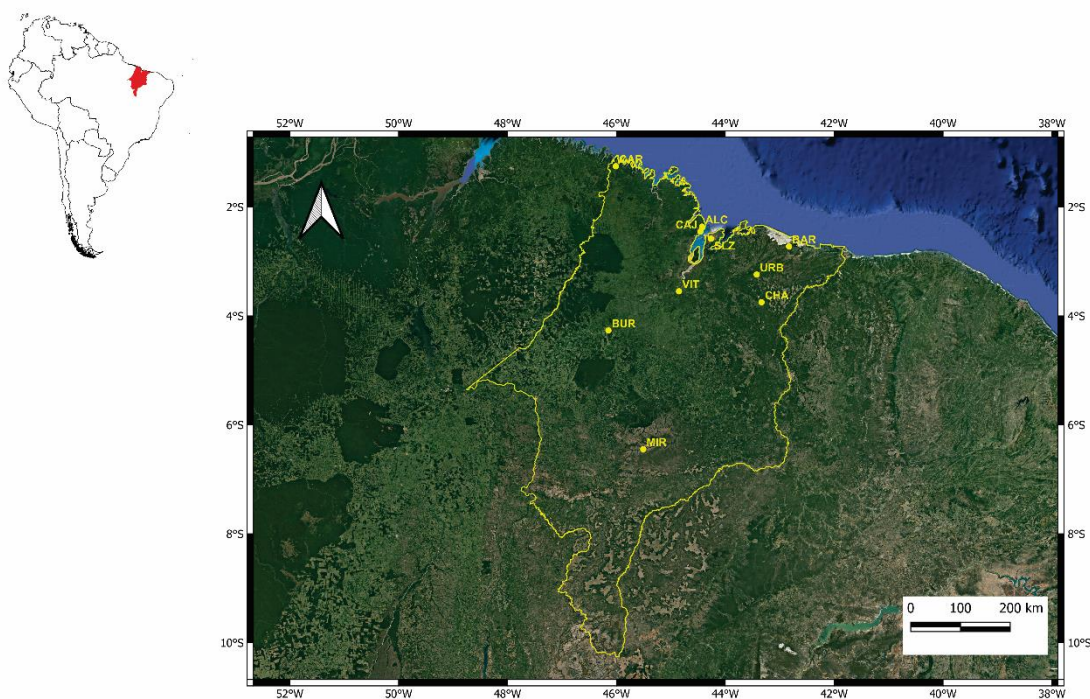


Figura 1. Estado do Maranhão e os locais de pesquisa das abelhas orquídeas (círculos amarelos sólidos) usados na análise deste estudo. A imagem superior esquerda mostra o continente da América do Sul com o estado do Maranhão em vermelho. As siglas representam os seguintes locais: ALC = Alcântara; BAR = Barreirinhas; BUR = Buriticupu; CAJ = Ilha Cajual; CAR = Carutapera; CHA = Chapadinha; MIR = Mirador; SLZ = Ilha de Maranhão.

2.2 Dados de riqueza das assembléias de abelhas das orquídeas

Obtivemos dados sobre a riqueza de espécies de *Euglossini* a partir de trabalhos publicados realizados em diferentes localidades do estado do Maranhão, as áreas de estudo abrangeram principalmente as fitofisionomias da floresta Amazônica e do Cerrado (Figura 1, Tabela I). Incluímos em nosso banco de dados apenas aqueles trabalhos com duração mínima de um ano de levantamento de abelhas das orquídeas, bem como trabalhos que utilizaram no mínimo quatro iscas atrativas para captura de abelhas das orquídeas. Seguimos a versão 2022 do catálogo de abelhas de Moure para nomear a espécie de abelhas das orquídeas (<http://moure.cria.org.br/>).

Tabela I: apresenta a lista dos estudos de pesquisa utilizados para construir o conjunto de dados das espécies de abelhas orquídeas no estado do Maranhão.

Autor	Longitude (W)	Latitude (S)	Riqueza
Silva & Rebêlo 1999	-46.14585	-4.26761	33
Rebêlo & Silva 1999	-44.26224	-2.58201	23
Albuquerque <i>et al.</i> 2001	-44.84779	-3.54949	13
Brito & Rêgo 2001	-44.42641	-2.36028	19
Silva & Rebêlo 2002	-44.45694	-2.45139	19
Carvalho <i>et al.</i> 2006	-43.42222	-3.24055	16
Silva <i>et al.</i> 2009	-42.83009	-2.72375	15
Silva 2012	-43.33281	-3.74869	14
Martins <i>et al.</i> 2018	-45.50739	-6.42786	21
Martins <i>et al.</i> 2018	-45.50724	-6.44533	16
Ferreira <i>et al.</i> 2019	-46.01109	-1.25026	24

2.3 Produtividade vegetal e heterogeneidade

Estimamos a produtividade vegetacional utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado de imagens de satélite. As imagens da coleção Landsat (Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8) das localidades de estudo foram coletadas entre os meses de junho e julho de cada período correspondente da pesquisa de estudo. O índice NDVI foi calculado a partir das bandas Landsat vermelha e infravermelha próxima e informou a vegetação fotossinteticamente ativa (isto é, substituto para a quantidade de biomassa verde (Cramer *et al.*, 1999). Estimamos a heterogeneidade espacial do NDVI usando métricas de textura de imagem de primeira e segunda ordem (Hall-Beyer, 2017). O coeficiente de variação (cv) foi a métrica de textura de primeira ordem usada para capturar a heterogeneidade espacial do NDVI, enquanto a métrica de textura de segunda ordem usada foi o momento de diferença inversa (idm) e o segundo momento angular (asm) (Haralick *et al.*, 1973). As

métricas de NDVI e textura foram obtidas de cada local de estudo usando todos os valores de pixels dentro do círculo com um raio de 600m, e usamos os valores médios de pixels como estimativas de NDVI, idm e asm. Utilizamos o software QGIS 3.63.3 para processamento de imagens de satélite e estimativa de NDVI e texturas de imagens (QGIS Development Team, 2022).

2.4 Análise estatística

Ajustamos modelos aditivos generalizados (GAM) com uma distribuição de erro de Poisson para avaliar a influência da produtividade (NDVI) e da heterogeneidade espacial na produtividade (cv, idm e asm) na riqueza das abelhas orquídeas. Construímos sete modelos GAM (quatro univariados e três bivariados) e utilizamos o critério de informação de Akaike corrigido para amostras pequenas (AICc), diferenças de AICc entre os modelos ($\Delta AICc$) e o peso relativo (w) para a seleção do modelo mais parcimonioso (Burnham e Andersen, 2002). A análise estatística foi realizada usando o R 4.3.3 (R CORE TEAM 2022) com o pacote gam (Hastie, 2022) para a análise GAM e o AICcmodavg (Mazerolle, 2020) para a análise AICc.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A riqueza de espécies de abelhas orquídeas variou de 13 a 33 espécies nas fitofisionomias, com maior riqueza no habitat da floresta Amazônica (33 espécies), enquanto a riqueza nas fitofisionomias do Cerrado variou entre 14 e 16 espécies de abelhas orquídeas. A menor riqueza foi encontrada na localidade periodicamente inundada, com 13 espécies (Tabela I). As estimativas de AICc mostraram dois modelos mais parcimoniosos, nomeadamente os modelos univariados cv e NDVI (Tabela II). A análise GAM mostrou que a riqueza de abelhas orquídeas aumentou com os valores médios de NDVI (Tabela III). Por outro lado, a riqueza de abelhas orquídeas diminuiu com os valores de coeficiente de variação do NDVI, ou seja, a heterogeneidade espacial de primeira ordem do NDVI (Tabela III).

Tabela II: apresenta as estimativas do Critério de Informação de Akaike (AIC) para os modelos GAM.

Modelo	AICc	ΔAICc	w
cv	65.1	0	0.43
NDVI	65.4	0.31	0.37
NDVI+idm	68.9	3.87	0.06
NDVI+asm	69.3	4.25	0.05
NDVI+cv	69.7	4.69	0.04
asm	71.1	6.01	0.02
idm	71.3	6.2	0.02

Tabela III: apresenta a análise de variância (ANOVA) para os modelos GAM mais parcimoniosos.

Modelo	Sum Sq	Mean Sq	d.f.	F	p valor
cv	8.34	8.34	1	12.13	0.008
Resíduos	5.67	0.68	8		
NDVI	7.46	7.46	1	10.87	0.01
Resíduos	5.72	0.68	8		

CONCLUSÃO

O estado do Maranhão oferece um ambiente rico e variado para pesquisas ecológicas, levando em consideração o fato de possuir uma extensa área territorial e ampla diversidade fitofisionômica, incluindo Floresta amazônica, Cerrado e Caatinga. O presente estudo, realizado em diferentes regiões

do Maranhão, sobre a riqueza de abelhas Euglossini, apresentou variações significativas nas populações de abelhas, sendo analisada maior riqueza em áreas de floresta amazônica e estando menos presente em áreas periodicamente inundadas. Foi observado que a riqueza de abelhas aumenta de acordo com a produtividade vegetacional, enquanto a heterogeneidade espacial aparenta causar efeitos negativos. Os resultados destacam a importância de preservar as fitofisionomias naturais, assim como a manutenção da heterogeneidade ambiental para a conservação das abelhas orquídeas. Isso é essencial para a estabilidade dos benefícios que elas proporcionam ao ecossistema. A continuidade de pesquisas é fundamental para que se compreenda melhor as dinâmicas ecológicas e garantir a permanência desses importantes polinizadores na área estudada.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Willian Moura de; GAGLIANONE, Maria Cristina. Euglossine bee communities in small forest fragments of the Atlantic Forest, Rio de Janeiro state, southeastern Brazil (Hymenoptera, Apidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 56, p. 210-219, 2012.

ALBUQUERQUE, P. M. C.; FERREIRA, R. G. & RÊGO, M. M. C. 2001. Levantamento da fauna de abelhas silvestres (Hymenoptera, Apoidea) na região da “Baixada Maranhense”: Vitória do Mearim, MA, Brasil. **Acta Amazonica** 31(3):419-430.

BORGES, Rafael Cabral et al. A dataset of multi-functional ecological traits of Brazilian bees. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 120, 2020.

CARVALHO, Cristiane C. de; RÊGO, Márcia Maria C.; MENDES, Fernanda N. Dinâmica de populações de Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em mata ciliar, Urbano Santos, Maranhão, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 96, p. 249-256, 2006.

CORRÊA-NETO, José J. et al. Planícies de inundação estuarinas abrigam maior diversidade de abelhas-das-orquídeas (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) do que manguezais na Amazônia costeira. **Apidologie**, v. 55, n. 3, p. 37, 2024.

CRAMER, W., Kicklighter, D.W., Bondeau, A., Iii, B.M., Churkina, G., Nemry, B., Ruimy, A., Schloss, A.L. and Intercomparison, T.P.O.T.P.N.M. (1999). Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. **Global Change Biology**, 5: 1-15.

DE BRITO, C. M. S.; RÊGO, M. M. C. Community of male Euglossini bees (Hymenoptera: Apidae) in a secondary forest, Alcântara, MA, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, p. 631-638, 2001.

FERREIRA, Luciano André Chaves et al. Richness of wild bees (Hymenoptera: Apidae) in a forest remnant in a transition region of Eastern Amazonia. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2019, n. 1, p. 5356104, 2019.

QGIS Development Team, 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>

HALL-BEYER, M. (2017). Practical guidelines for choosing GLCM textures to use in landscape classification tasks over a range of moderate spatial scales. **International Journal of Remote Sensing**, 38: 1312–1338.

HARALICK, R.M., Shanmugam, K. Dinstein, I. (1973) Textural Features for Image Classification. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, SMC-3: 610-621.

HASTIE, T. (2023). gam: Generalized Additive Models_. R package version 1.22-3. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=gam>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2012) Manual Técnico da Vegetação Brasileira, 2nd Edn. Rio de Janeiro, BRA: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2024) Cidades e Estados. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>, acesso em junho de 2024.

MARTINS, Denilson Costa et al. Orchid bees (Apidae: Euglossini) in Cerrado remnants in northeast Brazil. **Journal of natural history**, v. 52, n. 11-12, p. 627-644, 2018.

MAZEROLLE, M.J. (2023). AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.3.3. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg>.

NUGEO, Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, Laboratório de Meteorologia. Informativos climáticos. Disponível em: https://www.nugeo.uema.br/?page_id=209, acesso em junho de 2024.

R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

REBÊLO, José Manuel M.; SILVA, Francinaldo S. Distribuição das abelhas euglossini (Hymenoptera: Apidae) no estado do Maranhão, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, p. 389-401, 1999.

Roubik DW (1989) Ecologia e história natural das abelhas tropicais, Cambridge Univ. Press, Nova York, NY, p 514.

Silva O, Rego MMC, Albuquerque PMC, Ramos MC. 2009. Abelhas Euglossina (Hymenoptera: apidae) em área de restinga do nordeste do Maranhão. **Neotrop Entomol.** 38(2):186–196.

SILVA, FS; REBÊLO, JMM Dinâmica populacional de abelhas Euglossinae (Hymenoptera, Apidae) em uma floresta secundária inicial da Ilha do Cajual, no estado do Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 62, p. 15-23, 2002.

Silva FS. 2012. Orchid bee (Hymenoptera: apidae) community from a gallery forest in the Brazilian Cerrado. *Rev Biol Trop.* 60(2):625–633.

TEIXEIRA, Frederico Machado. Técnicas de captura de Hymenoptera (Insecta). **Revista Vértices**, v. 14, n. 1, p. 169-198, 2012.

KLEIN, Alexandra-Maria; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; TSCHARNTKE, Teja. Bee pollination and fruit set of Coffea arabica and C. canephora (Rubiaceae). **American Journal of Botany**, v. 90, n. 1, p. 153-157, 2003.