



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ALINE MARIZA COSTA MARIANO

**EFEITO DO USO DO HABITAT SOBRE A ABUNDÂNCIA, RIQUEZA E
DIVERSIDADE DE MACHOS DE ABELHAS EUGLOSSINI (HYMENOPTERA:
APIDAE) EM ÁREAS DE FLORESTA SECA EM PERNAMBUCO**

PETROLINA-PE

2023

ALINE MARIZA COSTA MARIANO

**EFEITO DO USO DO HABITAT SOBRE A ABUNDÂNCIA, RIQUEZA E
DIVERSIDADE DE MACHOS DE ABELHAS EUGLOSSINI (HYMENOPTERA:
APIDAE) EM ÁREAS DE FLORESTA SECA EM PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade de Pernambuco *Campus* Petrolina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Milet Pinheiro.
Coorientador(a): Dra. Márcia de Fátima Ribeiro

PETROLINA-PE

2023

M333e	Mariano, Aline Maria Costa. Efeito do uso do habitat sobre a abundância, riqueza e diversidade de machos de abelhas euglossini (hymenoptera: apidae) em áreas de floresta seca em Pernambuco / Aline Maria Costa Mariano. – Petrolina: do autor, 2023. 88 f. : PDF ; 3,35 MB. Orientadores: Prof. Dr. Paulo Milet Pinheiro e Dra. Márcia de Fátima Ribeiro. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade de Pernambuco, <i>Campus</i> Petrolina, Petrolina-PE, 2023. 1. Euglossini. 2. Abelhas das orquídeas. 3. Conservação. 4. Polinização. 5. Floresta Tropical. I. Pinheiro, Paulo Milet. II. Ribeiro, Márcia de Fátima. III. Universidade de Pernambuco - <i>Campus</i> Petrolina - PPGCTA. III. Título. CDD 595.799
-------	--

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária Eliane Batista de Carvalho, CRB 4/2011, Universidade de Pernambuco – *Campus* Petrolina.

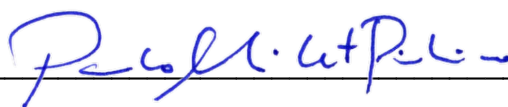
ALINE MARIZA COSTA MARIANO

**EFEITO DO USO DO HABITAT SOBRE A ABUNDÂNCIA, RIQUEZA E
DIVERSIDADE DE MACHOS DE ABELHAS EUGLOSSINI (HYMENOPTERA:
APIDAE) EM ÁREAS DE FLORESTA SECA EM PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade de Pernambuco *Campus* Petrolina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Defendida e aprovada em: 31 de março de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo Milet Pinheiro (Orientador)
Universidade de Pernambuco *Campus* (UPE)



Prof. Dr. Hiram Falcão (Membro interno)
Universidade de Pernambuco *Campus* (UPE)



Airton Torres Carvalho
Professor Adjunto
SIAPE: 1225100

Assinado digitalmente por Airton T Carvalho
ID: OU=CCBS/DBIO, O=UFERSA, CN=Airton
T Carvalho, E=airton.carvalho@ufersa.edu.br
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: Mossoró, RN
Data: 2023.07.20 17:34:18-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.1.2

Prof. Dr. Airton Torres Carvalho (Membro externo)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

DEDICATÓRIA

À minha família, aos meus pais, meus orientadores e colegas, por toda atenção, dedicação e carinho, que me propiciaram durante esse tempo de estudo acadêmico.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pelo dom da vida e da sabedoria, pela saúde, força, coragem e pelas pessoas que estiveram comigo e principalmente pelas Suas misericórdias na minha vida, dando-me assim a oportunidade de poder concluir mais uma etapa dessa jornada.

Aos meus pais, Maria Auxiliadora C. Mariano e Antônio Santiago Mariano, por sempre me guiarem pelo caminho certo da vida, e sempre me mostrarem o melhor caminho a se seguir que é a educação.

A todos os meus queridos irmãos, pelo incentivo, cooperação e toda atenção.

À Universidade de Pernambuco - *Campus* Petrolina, pela oportunidade e realização desse curso.

À Capes pela bolsa de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Milet Pinheiro, pela orientação, confiança e paciência e por contribuir para minha formação profissional. Serei sempre grata pelo apoio e carinho.

À pesquisadora Dra. Márcia de Fátima Ribeiro, por toda orientação, confiança e paciência, amizade e toda contribuição para minha formação profissional. Serei sempre grata pelo apoio e carinho.

A todos os professores e colegas do curso, por todos os conhecimentos transmitidos ao longo desses anos de estudo e dedicação.

A todos os meus amigos e em especial Jedson Freire, que sempre me apoiaram, me encorajaram e me ajudaram na execução deste trabalho.

À Eduardo Gonçalves dos Santos, Tenente Rafael dos Santos Dantas e Eudair Teles, pelo auxílio na coleta dos dados, confiança e amizade.

Ao professor Antônio Marcos, pelo auxílio no Geoprocessamento das áreas de coletas, pela disponibilidade do GPS e por toda ajuda, dedicação e disposição.

E a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente nesta jornada de conclusão de curso.

EPÍGRAFE

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará contigo por onde você andar”.

(JOSUÉ 1:9)

RESUMO

MARIANO, A. M. C. **Efeito do uso do habitat sobre a abundância, riqueza e diversidade de machos de Abelhas Euglossini (Hymenoptera: Apidae) em áreas de floresta seca em Pernambuco.** 2023. 86 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2023.

As abelhas da tribo Euglossini (Apidae) são importantes polinizadoras de florestas neotropicais, contribuindo para a reprodução de cerca de 30 famílias vegetais. Os machos dessas abelhas coletam substâncias químicas em diversas fontes naturais, tais como flores, madeira, frutas em decomposição e fungos, comportamento este que é explorado pelos pesquisadores para estudar diversos aspectos da biologia desses animais. Na literatura, existem evidências de que a transformação do habitat influencia as populações dessas abelhas em áreas de florestas úmidas. No entanto, estudos que avaliam a resposta das populações dessas abelhas em áreas de Caatinga são escassos. Este trabalho visou inventariar as espécies de Euglossini que ocorrem na região de Petrolina-PE e avaliar, de forma comparativa, como as populações dessas abelhas reagem a diferentes níveis de pressão antrópica no ambiente. O estudo foi realizado de setembro de 2021 a outubro de 2022 em sete áreas com diferentes tipos de usos antrópicos. Mensalmente, foram colocadas armadilhas de cheiro em cada uma das áreas (entre 8 e 12h) para atrair e capturar os machos. Foram coletados ao total 237 machos. O gênero mais representativo foi *Euglossa*, com 172 indivíduos e 7 espécies, seguido de *Eulaema*, com 65 indivíduos de uma única espécie. As espécies mais abundantes foram *Euglossa cordata* (150 machos coletados) e *Eulaema nigríta* (65). Na área de mata ciliar foi coletado o maior número de indivíduos (158) e espécies (8). Na área da orla de Petrolina, também na margem do rio, foram coletados 17 indivíduos de 4 espécies. Nas demais áreas, foram amostrados entre 33 e 5 indivíduos. As análises estatísticas demonstraram que as abelhas Euglossini são mais abundantes e apresentam uma maior riqueza nas áreas mais próximas ao rio e indicam que elas sofrem influência direta da pressão antrópica. Porém existe uma interação entre os fatores, ou seja, a distância da margem do rio e o índice de transformação antrópica. Dessa forma, as áreas com remanescentes de vegetação nativa comportam uma maior abundância de indivíduos e riqueza de espécies. Os resultados mostraram que em áreas de Caatinga a abundância e riqueza de Euglossini são maiores nas margens dos rios. Portanto os remanescentes de mata ciliar são vitais para manter populações dessas abelhas.

Palavras-chave: Euglossini, Abelhas das orquídeas, Conservação, Essências artificiais, Polinizadores.

ABSTRACT

MARIANO, A. M. C. **Effect of habitat use on abundance, richness and diversity of Euglossini (Hymenoptera: Apidae) bees males in areas of dried forest in Pernambuco.** 2023. Dissertation (Master). Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2023.

Bees from the Euglossini tribe (Apidae) are important pollinators of neotropical forests, contributing to the reproduction of about 30 plant families. The males of these bees collect chemical substances from various natural sources, such as flowers, wood, decaying fruits and fungi, a behavior that is explored by researchers to study various aspects of the biology of these animals. In the literature, there is evidence that the transformation of the habitat influences the populations of these bees in areas of humid forests. However, studies that evaluate the response of these bee populations in Caatinga areas are scarce. This work aimed to inventory the species of Euglossini that occur in the region of Petrolina-PE and to evaluate, in a comparative way, how the populations of these bees react to different levels of anthropic pressure in the environment. The study was carried out from September 2021 to October 2022 in seven areas with different types of anthropic uses. Monthly, scent traps were placed in each of the areas (between 8 and 12h) to attract and capture males. A total of 237 males were collected. The most representative genus was *Euglossa*, with 172 individuals and 7 species, followed by *Eulaema*, with 65 individuals of a single species. The most abundant species were *Euglossa cordata* (150 males collected) and *Eulaema nigrita* (65). In the riparian forest area, the largest number of individuals (158) and species (8) were collected. In the Petrolina waterfront area, also on the river bank, 17 individuals of 4 species were collected. In the other areas, between 33 and 5 individuals were sampled. Statistical analyzes showed that Euglossini bees are more abundant and richer in areas closer to the river and indicate that they are directly influenced by anthropic pressure. However, there is an interaction between the factors, that is, the distance from the riverbank and the rate of anthropic transformation. Thus, areas with remnants of native vegetation have a greater abundance of individuals and species richness. The results showed that in areas of Caatinga the abundance and richness of Euglossini are greater on the banks of the rivers. Therefore, the remnants of riparian forest are vital to maintain populations of these bees.

Keywords: Euglossini, Orchid bees, Conservation, Artificial essences, Pollinators.

RESUMEN

MARIANO, A. M. C. **Efecto del uso del hábitat en la abundancia, la riqueza y la diversidad de los machos de Euglossini (Hymenoptera: Apidae) en áreas de bosque seco en Pernambuco.** 2023. Disertación (Maestría). Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2023.

Las abejas de la tribu Euglossini (Apidae) son importantes polinizadores de los bosques neotropicales, contribuyendo a la reproducción de unas 30 familias de plantas. Los machos de estas abejas recolectan sustancias químicas de varias fuentes naturales, como flores, madera, frutas en descomposición y hongos, un comportamiento que los investigadores exploran para estudiar varios aspectos de la biología de estos animales. En la literatura existe evidencia de que la transformación del hábitat influye en las poblaciones de estas abejas en áreas de bosques húmedos. Sin embargo, los estudios que evalúan la respuesta de estas poblaciones de abejas en las áreas de Caatinga son escasos. Este trabajo tuvo como objetivo inventariar las especies de Euglossini que ocurren en la región de Petrolina-PE y evaluar, de forma comparativa, cómo las poblaciones de estas abejas reaccionan a diferentes niveles de presión antrópica en el medio ambiente. El estudio se llevó a cabo desde septiembre de 2021 hasta octubre de 2022 en siete áreas con diferentes tipos de usos antrópicos. Mensualmente se colocaron trampas de olor en cada una de las áreas (entre las 8 y las 12h) para atraer y capturar a los machos. Se recogieron un total de 237 machos. El género más representativo fue *Euglossa*, con 172 individuos y 7 especies, seguido de *Eulaema*, con 65 individuos de una sola especie. Las especies más abundantes fueron *Euglossa cordata* (150 machos recolectados) y *Eulaema nigrita* (65). En el área de bosque de ribera se recolectó el mayor número de individuos (158) y especies (8). En la costanera de Petrolina, también en la ribera del río, se colectaron 17 individuos de 4 especies. En las demás áreas se muestrearon entre 33 y 5 individuos. Los análisis estadísticos mostraron que las abejas Euglossini son más abundantes y ricas en las áreas más cercanas al río e indican que están directamente influenciadas por la presión antrópica. Sin embargo, existe una interacción entre los factores, es decir, la distancia a la ribera y la tasa de transformación antrópica. Así, las áreas con remanentes de vegetación nativa presentan una mayor abundancia de individuos y riqueza de especies. Los resultados mostraron que en áreas de Caatinga la abundancia y riqueza de Euglossini es mayor en las márgenes de los ríos. Por lo tanto, los remanentes de bosque de ribera son vitales para mantener las poblaciones de estas abejas.

Palabras clave: Euglossini, Abejas orquídeas, Conservación, Esencias artificiales, Polinizadores.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Visão geral de machos de quatro dos cinco gêneros da tribo Euglossini: <i>Euglossa hansonii</i> Moure, 1965 (A), <i>Eufriesea pulchra</i> Smith, 1854 (B), <i>Eulaema polychroma</i> Friese, 1899 (C) e <i>Exaerete smaragdina</i> Guérin-Méneville, 1844 (D) ...	25
Figura 02 – Desenho esquemático da armadilha de coleta ativa com algodão.	29
Figura 03 – Desenho esquemático da armadilha de coleta passiva.	30
Figura 01 – Locais de amostragem de machos de abelhas Euglossini na área urbana do município de Petrolina, localizado ao longo do rio São Francisco, no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil.....	42
Figura 02 – Uso e cobertura do solo nas áreas de amostragem de abelhas Euglossini na área urbana do município de Petrolina, Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. (A) Mapas em um raio de 500 metros dos pontos de coleta. (B) Gráfico de barras ilustrando a proporção de usos e cobertura da terra em cada área. (Detalhes sobre as abreviaturas dos locais amostrados podem ser encontrados na Tabela 1 e na Figura 1).....	49
Figura 03 – Gráfico de dispersão mostrando os efeitos do Índice de Transformação Antropogênica (ATI) e Distância do Rio São Francisco sobre (A, B) Abundância Total e (C, D) Riqueza de Espécies de abelhas. (As linhas azuis indicam linhas de tendência de regressão para os modelos ajustados e as áreas cinzas representam intervalos de confiança de 95%; os outliers correspondentes à localidade BAT foram removidos das Figuras A e C para melhor visualização da linha de tendência).....	51
Figura 04 – (A) Gráfico de dispersão representando a variação da abundância e riqueza de abelhas em função do ATI e da distância do rio São Francisco. (Detalhes sobre as abreviaturas dos locais amostrados podem ser encontrados na Tabela 1 e na Figura 1). (B-C) Mapa de calor ilustrando a interação entre as variáveis explicativas, distância à margem do rio e ATI, na riqueza de abelhas Euglossini (B) e abundância (C)	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Descrição das áreas de amostragem de abelhas Euglossini no município de Petrolina, Pernambuco, Nordeste do Brasil.....	43
Tabela 02 – Classes de uso do solo e seus respectivos pesos utilizados no cálculo do Índice de Transformação Antrópica.....	45
Tabela 03 – Índice de Transformação Antropogênica (ITA) das áreas de amostragem de abelhas Euglossini no município de Petrolina, Pernambuco, Nordeste do Brasil. (O valor zero nas classes do Índice de Transformação Antropogênica indica que esse tipo de uso do solo não existe na área, considerando um raio de 500m).	48
Tabela 04 – Lista de espécies e parâmetros da comunidade das áreas de amostragem de abelhas Euglossini no município de Petrolina, Pernambuco, Nordeste do Brasil.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BA	Acetato de Benzila
MB	Benzoato de Benzila
MH	(E)-cinamato de metila
EUL	Eucaliptol
EU	Eugenol
BET	β -ionona
SC	Scatol
MS	Salicitato de Metila
VAN	Vanilina
VER	Veratrol
GER	Geraniol
<i>Eg.</i>	<i>Euglossa</i>
<i>El.</i>	<i>Eulaema</i>
BT	Batalhão
RF	Mata ciliar do Eco Spa
PM	Parque municipal
SS	Praça da Sementeira
WF	Orla de Petrolina
PU	Universidade de Pernambuco
N9	Projeto Senador Nilo Coelho Número 9
ITA	Índice de Transformação Antrópica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO DA LITERATURA	19
3.1 Perturbação antrópica nos ecossistemas	19
3.2 Efeito da perturbação antrópica em estudos de interações ecológicas	19
3.3 Padrões espaciais e efeito do uso do habitat em comunidades de abelhas	21
3.4 Abelhas Euglossini: distribuição, diversidade e taxonomia	23
3.5 Abelhas Euglossini: polinização e recursos florais coletados	25
3.6 Iscas de odores como ferramenta para o estudo de Euglossini	28
3.7 Euglossini: potenciais modelo de estudos	30
3.8 Euglossini na Caatinga	32
4 ONDE O RISCO É MAIS INTENSO: FLORESTA RIPARIANA MANTÉM ABELHAS EUGLOSSINE COMUNIDADE MAIS AFETADA PELA PERTURBAÇÃO ANTRÓPICA NA CAATINGA SECA	36
4.1 Introdução	38
4.2 Material e métodos	41
4.3 Resultados	47
4.4 Discussão	52
4.5 Referências	58
5 IMPACTOS ESPERADOS DA PESQUISA NA SOCIEDADE	69
6 PERSPECTIVAS FUTURAS	70
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A - DADOS PARA CADASTRO DOS PROJETOS NA PLATAFORMA ÁTRIO	85

1 INTRODUÇÃO GERAL

As Perturbações antrópicas favorecem alguns grupos, embora sejam vistas somente pelos seus impactos negativos sobre as espécies (Morris & Heidinga 1997). As abelhas Euglossini, por exemplo, incluem cerca de 250 espécies neotropicais que desempenham um papel chave como polinizadores em florestas úmidas e secas (Dressler 1982). Com uma grande capacidade de voo, essas abelhas promovem um fluxo polínico eficiente, polinizando cerca de 30 famílias vegetais, com espécies de flores que exigem vibração, flores de resina, flores com corolas tubulares e/ou flores de perfume. Assim, as Euglossini têm um papel crucial na manutenção da diversidade de florestas neotropicais (Darrault *et al.* 2006; Janzen 1971; Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005; Ramalho 2006).

Os machos da tribo Euglossini apresentam um comportamento único entre os insetos. Eles coletam substâncias químicas em diversas fontes naturais, tais como fungos, vegetação em decomposição e fezes, embora mais frequentemente os façam em flores de plantas que produzem fortes fragrâncias (Dressler 1982). A descoberta desse comportamento foi acompanhada de uma série de estudos que passaram a investigar a composição química dos perfumes florais e sintetizar os compostos produzidos pelas flores para testar sua atratividade (Vogel 1966; Hills *et al.* 1968; Dodson *et al.* 1969). A partir daí, substâncias sintéticas análogas àquelas produzidas pelas flores passaram a ser utilizadas como iscas para atrair os machos de Euglossini (Dressler 1982; Roubik & Ackerman 1987).

As iscas de cheiro se tornaram uma poderosa ferramenta e têm sido exploradas por pesquisadores para estudar uma série de aspectos da biologia desses animais, tais como levantamentos faunísticos (e.g. descrição de novas espécies: Powell & Powell 1987; Eltz *et al.* 2005; Nemésio & Silveira 2007; Ramírez *et al.* 2002; Tonhasca *et al.* 2002), biologia comportamental (e.g. corte sexual, horário de forrageio: Darrault *et al.* 2006; Dressler 1982; Eltz *et al.* 2005), interações ecológicas (e.g. plantas visitadas: Dodson 1966; Dressler 1982; Ackerman 1985; Cameron 2004; Rebêlo & Garófalo 1991), genética molecular e evolução (e.g. filogenia e cladística: Ramírez *et al.* 2010) e, particularmente, dinâmica populacional (e.g. abundância, riqueza e diversidade: Becker *et al.* 1991; Tonhasca *et al.* 2002) e biologia da conservação (e.g. efeito de fragmentação/destruição de habitat e estratégias de conservação: Dressler 1982; Roubik & Ackerman 1987).

De uma forma geral, os estudos realizados até o momento mostram que o uso do habitat pode interferir nas populações de Euglossini, pois algumas dessas abelhas são altamente ligadas aos habitats florestais e evitam voar em áreas abertas. Essas espécies devem sofrer grandes impactos com as fragmentações e modificações das florestas (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). Tonhasca *et al.* (2002) demonstraram, de fato, que o efeito da fragmentação do habitat pode afetar a dispersão dessas abelhas nas florestas, bem como a polinização nessas áreas. A abundância e riqueza dessas abelhas também são impactadas pela degradação do habitat, como citado por Moura & Schlindwein (2009); Powell & Powell (1987); Tonhasca *et al.* (2002).

As abelhas Euglossini também são importantes polinizadoras de plantas em áreas antropizadas, sendo cruciais na manutenção da biodiversidade dessas áreas (Mcintyre & Hostetler 2001; Frankie *et al.* 2005). Algumas dessas espécies podem apresentar características ecológicas que facilitam a sua colonização em áreas urbanas (Banaszak-Cibicka & Żmihorski 2012) e também fornecem serviços de polinização para a agricultura (Cardoso & Gonçalves 2018; Kerr *et al.* 2015; Potts *et al.* 2010, 2016). Essas áreas modificadas (urbanas e/ou agrícolas) apresentam baixa abundância e riqueza de abelhas, se comparadas as áreas naturais ou seminaturais (Kennedy *et al.* 2013). Entretanto, isso pode variar em função das espécies e características da paisagem (veja os muitos trabalhos do Metzger) (Metzger *et al.* 2021). Vários estudos mostram que a diversidade dessas abelhas é maior em áreas de florestas úmidas do que em florestas secas, por isso grande parte dos estudos são desenvolvidos em áreas de florestas úmidas, enquanto que trabalhos que estudam a dinâmica das populações de Euglossini em áreas de Caatinga (floresta tropical sazonalmente seca) (Darrault *et al.* 2006; Dressler 1982; Roubik 2004). Estão sendo cada vez mais desenvolvidos.

Nessas as áreas de florestas secas, as matas ciliares parecem ser de extrema relevância, uma vez que oferecem recursos alimentares e áreas de nidificação durante o ano, garantindo a manutenção de diversos grupos de polinizadores. Essas áreas são refúgios e corredores de grande importância ecológica para essas espécies (Moura & Schlindwein 2009). Embora a maioria dos estudos mostrem que as populações de Euglossini tendem a ser impactadas negativamente pela fragmentação, destruição do habitat e modificações do uso da terra, existem trabalhos que mostram que esses efeitos podem ser maiores ou menores de acordo com as

espécies de Euglossini. Algumas espécies, tais como *Eulaema nigríta* e *Euglossa cordata*, toleram áreas mais degradadas e podem até se beneficiar delas (Silveira *et al.* 2002; Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005), enquanto outras, tais como *Eulaema bombiformis*, *El. atleticana* e *Euglossa perpulchra* devem desaparecer completamente nestes ambientes (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). Além disso, devido ao alto grau de fragmentação/degradação e modificação ambiental, é importante o estudo desses animais nas florestas tropicais sazonalmente secas, principalmente na Caatinga (Oyama & Nobre 2003; Trenberth *et al.* 2007).

Na Caatinga, mais de 40% da flora depende de abelhas para a sua polinização e as espécies de abelhas encontradas na Caatinga são pouco conhecidas principalmente as da tribo Euglossini (Zanella 2000; Lopes *et al.* 2007). Os levantamentos de Euglossini realizados em áreas do semiárido da Caatinga demonstram números baixos de espécies, principalmente as de habitats abertos. As espécies de *El. nigríta* e *Eg. cordata* são as mais abundantes nessas áreas de Caatinga (Lopes *et al.* 2007; Moura & Schlindwein 2009) com uma boa adaptação às áreas perturbadas (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). A Caatinga é uma floresta tropical sazonalmente seca heterogênea, com uma variedade de ecossistemas distintos (Andrade-Silva *et al.* 2012), exibindo grandes extensões com a desertificação já instalada (Souza *et al.* 2005). Atualmente, a vegetação da Caatinga está reduzida a pequenos fragmentos de mata (Andrade-Silva *et al.* 2012).

Diante do cenário fundamentado acima, a ideia central desse projeto é justamente avaliar como as comunidades de abelhas Euglossini reagem a diferentes modalidades de uso da terra que são observadas em áreas de Caatinga. Para tal, foram selecionadas diferentes áreas no município de Petrolina, que refletem bem o cenário de uso antrópico da Caatinga: reserva de Caatinga típica, remanescente de mata ciliar, parques e praças urbanas e área de fruticultura. Mais especificamente, foram levantadas as seguintes perguntas: 1. Os processos de degradação ambiental na Caatinga interferem na composição, bem como na abundância, riqueza e diversidade de machos em áreas com diferentes usos antrópicos? 2. As áreas mais preservadas podem apresentar maior diversidade de abelhas Euglossini?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar como a abundância, riqueza e diversidade de abelhas Euglossini é afetada por diferentes tipos de uso antrópico em áreas de Caatinga.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Inventariar as espécies de Euglossini na área urbana de Petrolina.
2. Comparar as comunidades das abelhas Euglossini em áreas com diferentes tipos de uso antrópico neste município.
3. Entender como as diferentes formas de uso do habitat podem interferir na abundância, riqueza e diversidade de abelhas Euglossini.
4. Avaliar o potencial uso de abelhas Euglossini como bioindicadores de áreas de Caatinga degradadas.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Perturbação antrópica nos ecossistemas

As populações humanas são responsáveis pelas mudanças drásticas do uso da terra e pelas secas rígidas, afetando muitos aspectos do funcionamento do ecossistema, principalmente a biodiversidade, estabilidade e a produtividade (Hooper *et al.* 2012; Hautier *et al.* 2015). Paralelamente, distúrbios antrópicos que são prevalentes em áreas secas dos trópicos, afetam enormemente estas regiões, e as populações humanas que dependem dos recursos florestais (Singh 1998; Specht *et al.* 2015). O uso desenfreado e o consumo direto desses recursos pelas comunidades locais geram efeitos múltiplos causados pelas atividades e pelo desenvolvimento da infraestrutura das cidades, sendo as principais causas das perturbações antrópicas nesses fragmentos de habitats (Mattison & Norris 2005).

Os fragmentos são retratados frequentemente como mosaicos de manchas pretas e brancas representando os fragmentos originais do habitat e da matriz antropogênica circundada. Este é o modelo simplificado que é usado em vários estudos como em biogeografia de ilhas, metapopulações, políticas ambientais e em ecologia de paisagens, e afeta as estratégias de conservação da biodiversidade (Hanski 1998; Macarthur & Wilson 1967). O grau da perturbação antrópica nesses fragmentos pode variar de acordo com a proximidade de vetores diferentes de perturbação, pois quanto maior a proximidade desses vetores maior será a perturbação antrópica sofrida. Portanto, as áreas naturais mais próximas aos assentamentos e pastagens são suscetíveis a maiores distúrbios antrópicos devido a retirada de madeira, pastoreio e incêndios (Ribeiro *et al.* 2015; Tavares *et al.* 2016), e a construção de estradas, que promovem o acesso a áreas remotas (Wilkie *et al.* 2000). Por isso é essencial entender como o distúrbio antrópico pode prejudicar a estabilidade do ecossistema nessas áreas, bem como consequentemente comprometer o uso futuro desses recursos. Em áreas onde os recursos naturais são extraídos constantemente, as comunidades ecológicas podem estar em constante processo de sucessão secundária e colonização, e a extinção de espécies pode ocorrer constantemente (Lehtilä *et al.* 2016).

3.2 Efeito da perturbação antrópica em estudos de interações ecológicas

Os estudos de perturbação antrópica em sua maioria são concentrados nos efeitos negativos sobre as espécies (Tabarelli *et al.* 2012). Esses efeitos estão aumentando tanto em extensão como em intensidade espacial e vêm demonstrando que espécies altamente resilientes (“vencedoras”), mesmo sendo poucas, estão gradualmente dominando as comunidades. Por outro lado, algumas espécies com pouca tolerância a essas perturbações antrópicas (“perdedoras”), que frequentemente são nativas, vêm sofrendo perdas significativas (Mckinney & Lockwood 1999).

Assim, espécies que se desenvolvem em ambientes fortemente antropizados e expandem sua área geográfica rapidamente, são normalmente retratadas como “vencedoras”. Já as espécies nativas endêmicas, ou aquelas com distribuições restritas, são consideradas normalmente “perdedoras” (Qian & Guo 2010; Tabarelli *et al.* 2012). Há, no entanto, espécies nativas que são mais tolerantes às perturbações em habitats antropizados, como é o caso, por exemplo, de algumas espécies de abelhas Euglossini (Oliveira *et al.* 2015) e podem exibir padrões de monodominância nas comunidades. Este padrão antes era considerado exclusivo das espécies exóticas (Guo & Ricklefs 2010). É interessante notar que, independentemente do tipo de perturbação, as áreas antropizadas vão sempre apresentar espécies que podem se beneficiar ou não desse cenário (Morris & Heidinga 1997). Se for uma perturbação que apresenta aspectos generalistas e persistentes, as espécies beneficiadas irão substituir as que morrerem/desaparecerem (perdedoras). E as espécies que tiverem expansão geográfica devido à essa mudança ambiental provocada pela fragmentação/antropização serão as espécies vencedoras (Baskin 1998).

Esses processos podem ocorrer em uma escala global, influenciados pelas modificações do ambiente e pelo uso ou transporte de espécies exóticas para essas áreas (Vitousek 1996; Williamson 1996). Assim, quando o ambiente é modificado, muitas espécies endêmicas locais são perdidas, por não serem tolerantes às ações antrópicas, enquanto que outras, tolerantes, são disseminadas (Williamson 1996). Esses diferentes processos ecológicos da substituição da área local de perdedores por vencedores, pode ser resultado da homogeneização biótica, já que as biotas nativas podem se reorganizar em respostas ao estabelecimento da paisagem modificada pelas ações antrópicas (Lôbo *et al.* 2011). A homogeneização é normalmente utilizada para a substituição de biotas locais por espécies não nativas, normalmente introduzidas pelo homem, e nesse processo geralmente ocorre a

substituição de espécies endêmicas por espécies já difundidas, reduzindo a diversidade de espécies (Baskin 1998).

Os habitats florestais que não apresentam altos níveis de perturbações, poderão abrigar populações refugiadas de algumas espécies pioneiras nativas de vida curta. Mas, se ocorrer alterações profundas nesses habitats, ocorrerá também a perda dessas espécies intolerantes a distúrbios (Tabarelli *et al.* 2012). A perda de espécies não se limita apenas às espécies que são restritas ou endêmicas, mas a qualquer espécie em um determinado grupo ecológico específico, sendo elas efetivamente incapazes de enfrentar habitats com condições altamente modificadas (Tabarelli *et al.* 2012). Portanto, é importante realizar estudos que demonstrem os efeitos da perturbação do habitat sobre as espécies em florestas tropicais úmidas e secas.

3.3 Padrões espaciais e efeito do uso do habitat em comunidades de abelhas

O estudo de padrões espaciais dos organismos nos permite investigar os principais fatores ambientais (abióticos ou bióticos) que definem a distribuição geográfica e a abundância das espécies. Entre os fatores abióticos destacam-se a temperatura, umidade, altitude; e entre os fatores bióticos, as interações ecológicas e capacidades de dispersão dos organismos (Powell & Powell 1987; Tonhasca *et al.* 2002; Silveira 2014). Esse conjunto de fatores ambientais que interfere na distribuição geográfica das espécies e nos padrões de abundância são denominados fatores limitantes. Esses padrões também podem ser alterados por transformações do habitat que, geralmente, são ocasionadas por diferentes usos da terra e de sua vegetação, os quais exercem ou geram impactos sobre a biota, tais como fragmentação, modificação e a perda de habitat (Silveira 2014).

Os impactos causados por essas diferentes formas de uso do ambiente podem variar de acordo com o grupo de organismos (Tonhasca *et al.* 2002; Silveira 2014). Abelhas, por exemplo, são altamente dependentes de seu habitat para obter recursos para sua sobrevivência e reprodução (néctar, pólen, resinas, perfumes, entre outros), sendo sensivelmente afetadas por modificações do uso da terra, como a destruição e fragmentação do habitat (Tonhasca *et al.* 2002; Silveira 2014). As ações antrópicas (destruição/ocupação e modificação do habitat) vêm causando fortes impactos no ambiente, principalmente nas comunidades de abelhas locais, por meio da exclusão de fontes alimentares e de áreas de nidificação, além do envenenamento com

praguicidas, pesticidas, entre outros (Silveira *et al.* 2002, Potts *et al.* 2016). Na medida em que são derrubadas as florestas e substituídas por áreas urbanas ou áreas para a agricultura, os organismos presentes e dependentes desse ambiente acabam sendo localmente extintos ou confinados a pequenos fragmentos, onde também correm o risco de serem extintos por escassez de recursos, redução da população e competição (Silveira *et al.* 2002). Nesses fragmentos, a polinização pode ser prejudicada, porque o isolamento influencia muitas vezes negativamente na dispersão de insetos, que são os mais importantes agentes polinizadores (Powell & Powell 1987; Tonhasca *et al.* 2002).

Os estudos do uso da terra sobre os polinizadores são normalmente mais relacionados à riqueza e abundância de espécies (Winfrey *et al.* 2011), do que aos impactos das perturbações, ou seja, a intensidade do uso da terra nas comunidades das abelhas (Bracken & Low 2012). Por exemplo, as abelhas sociais mostraram ser muito mais afetadas pelo isolamento do habitat e aos pesticidas do que as solitárias (Williams *et al.* 2010).

As abelhas fornecem serviços de polinização vitais para a agricultura, e obviamente para os ecossistemas naturais, mas sofrem drasticamente com a ameaça e uso inapropriado da terra (Cardoso & Gonçalves 2018; Kerr *et al.* 2015; Potts *et al.* 2010, 2016). Elas apresentam uma série de características comportamentais e fisiológicas que podem diminuir ou aumentar os níveis de resiliência aos impactos do uso da terra (Benjamin *et al.* 2014). Áreas com paisagens fortemente urbanizadas e com áreas agrícolas apresentam na maioria das vezes uma baixa abundância e riqueza de abelhas se comparamos com áreas seminaturais (Kennedy *et al.* 2013). Isso é resultado principalmente da redução dos recursos florais e de áreas para nidificação em habitats antropogênicos. No entanto, outros fatores que também podem contribuir para a variação espacial das comunidades, é o uso de pesticidas e a predação ou risco de predação (Goulson *et al.* 2018; Roulston & Goodell 2011).

Existem características ecológicas específicas (e.g tolerância térmica, plasticidade de locais de nidificação) que podem facilitar a colonização de abelhas em áreas urbanizadas, principalmente no centro das cidades (Banaszak-Cibicka & Żmihorski 2012). Isso significa que a paisagem urbana pode atuar como um filtro na comunidade dessas abelhas, ao limitar a ocorrências de espécies com requerimentos ecológicos mais específicos. Assim, tanto a diversidade como a riqueza das abelhas

podem permanecer estáveis ao longo do tempo em ambiente urbano. Neste contexto, as cidades podem ser um habitat importante para determinados grupos de abelhas e a conservação desses habitats nos diferentes níveis de urbanização, poderá ser uma estratégia adequada para a conservação da biodiversidade de abelhas nas áreas urbanas (Banaszak-Cibicka & Żmihorski 2012; Ribeiro & Taura 2019). As áreas urbanas geram modificações drásticas tanto na paisagem, quanto no ambiente, gerando uma mudança nas interações interespecíficas (indivíduos de espécies diferentes) dentro das comunidades desses insetos (Mckinney 2006). Historicamente as comunidades de abelhas que ocorrem em áreas urbanas são bastante negligenciadas por pesquisadores taxonomistas, provavelmente por serem pobres em diversidade (e teoricamente menos interessantes). No entanto, ultimamente, o interesse por ecologia urbana e por abelhas nesse contexto tem crescido, embora ainda sejam menos do que estudos em áreas mais naturais (Matteson *et al.* 2008). Portanto, estudos que gerem conhecimento sobre a fauna de abelhas em áreas urbanas e antropizadas podem ser de grande importância na conservação desses polinizadores (Banaszak-Cibicka & Żmihorski 2012).

3.4 Abelhas Euglossini: distribuição, diversidade e taxonomia

As abelhas Euglossini (Hymenoptera, Apidae) são caracterizadas por apresentarem uma língua grande, muitas vezes maior do que o próprio corpo, característica esta que deu origem ao nome da Tribo (Euglossini do latim – eu: verdadeira, glossa: língua) (Michener 2000, 2007). Elas são abelhas de médio a grande porte, com comprimento variando entre 1 e 3,5 cm. Apresentam uma coloração metálica marcante, podendo ser predominantemente esverdeadas, azuladas, vermelhas, embora algumas sejam pretas (Michener 2000).

As Euglossini são abelhas exclusivamente neotropicais e estão distribuídas nas mais diversas formações vegetais, desde o norte da Argentina até o Sul do México (Dressler 1982). Atualmente, são descritas 210 espécies em toda a região Neotropical (Nemésio & Silveira 2007), das quais 110 ocorrem no Brasil (Ramirez *et al.* 2002). A diversidade de abelhas Euglossini é maior em zonas quentes e úmidas equatoriais, com uma menor diversidade de espécies em ambientes de vegetação aberta ou de florestas secas (Rodrigues *et al.* 2018). De fato, é nas florestas úmidas que esse grupo é mais rico e mais abundante (Roubik & Hansson 2004), com registro de 62 espécies

para a Floresta Atlântica (Peruquetti *et al.* 1999) e 127 para a Floresta Amazônica (Nemésio & Silveira 2007). Algumas poucas espécies foram registradas em ambientes de vegetação mais aberta, como o Cerrado e a Caatinga (Dressler 1982; Zanella 2000).

A tribo Euglossini é dividida em cinco gêneros: *Aglae* Lepeletier & Serville, 1825, *Eufriesea* Cockerell, 1908, *Euglossa* Latreille, 1802, *Eulaema* Lepeletier, 1841 e *Exaerete* Hoffmannsegg, 1817 (Ramirez *et al.* 2002; Moure *et al.* 2012). O gênero *Euglossa* (Fig. 1a) possui maior riqueza de espécies (128 spp.) e apresenta as menores (8-18 mm de comprimento) e mais coloridas abelhas da tribo, podendo apresentar coloração metálica verde, azul, violeta, acobreada e, em alguns casos, vermelha. O gênero *Eufriesea* (Fig. 1b) é o segundo mais rico, com 67 spp., e curiosamente o menos conhecido, provavelmente devido ao fato da maioria das suas espécies serem altamente sazonais (Dressler 1982; Darrault *et al.* 2006). Abelhas desse gênero são predominantes pretas com manchas metálicas esverdeadas-azuladas no seu integumento e apresentam porte médio a grande (14-26 mm de comprimento). O gênero *Eulaema* (Fig. 1c) inclui cerca de 33 espécies de grande porte (20-30 mm de comprimento), apresentando uma pilosidade densa e preta, frequentemente com pelos amarelo-alaranjados no abdômen. Os gêneros *Exaerete* (Fig. 1d) (15-28 mm de comprimento) e *Aglae* (23-25 mm de comprimento) incluem 8 e 1 espécie, respectivamente. Todas as espécies desses dois últimos gêneros são cleptoparasitas, ou seja, depositam seus ovos no aprovisionamento larval preparado por espécies de *Euglossa*, *Eufriesea* ou *Eulaema* (Dressler 1982; Darrault *et al.* 2006). Ainda se tem pouco conhecimento sobre a biologia dessas espécies (Darrault *et al.* 2006).



Imagens: Milet-Pinheiro

Figura 1. Visão geral de machos de quatro dos cinco gêneros da tribo Euglossini: *Euglossa hansonii* Moure, 1965 (A), *Eufriesea pulchra* Smith, 1854 (B), *Eulaema polychroma* Friese, 1899 (C) e *Exaerete smaragdina* Guérin-Ménéville, 1844 (D).

3.5 Abelhas Euglossini: Polinização e recursos florais coletados

As abelhas Euglossini são consideradas polinizadoras-chave nos mais variados ecossistemas neotropicais. São conhecidas por polinizarem uma grande variedade de plantas em florestas tropicais úmidas e secas. Por terem uma grande capacidade de voo, são altamente eficientes em promover o fluxo polínico a longas distâncias, garantindo a variabilidade genética de muitas populações vegetais (Janzen 1971; Peruquetti *et al.* 1999; Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). Elas são particularmente importantes para espécies vegetais raras com distribuição disjunta, como é o caso de muitas orquídeas, por exemplo.

Os machos e fêmeas de Euglossini buscam uma grande variedade de recursos nas flores de angiospermas (Dressler 1982; Carvalho & Machado 2002; Schlindwein 2000, 2004). Estimativas atuais sugerem que ao coletarem esses recursos, as abelhas Euglossini polinizam ao menos 2.000 espécies de pelo menos 30 famílias botânicas (Darrault *et al.* 2006; Dressler 1982; Carvalho & Machado 2002; Schlindwein 2000,

2004). Elas são importantes inclusive para plantas cultivadas, tais como maracujá-doce (Passifloraceae), tomate, berinjela (Solanaceae), entre outras.

As abelhas em geral, dependem das plantas para a obtenção de diversos tipos de recursos, principalmente o pólen e néctar (Dressler 1982). No que se refere à coleta de pólen, as abelhas Euglossini são consideradas poliléticas, ou seja, as fêmeas coletam pólen em várias plantas de diversas famílias vegetais para aprovisionar suas larvas (Darrault *et al.* 2006). Em busca de pólen, elas podem visitar flores abertas como, por exemplo, aquelas de espécies do gênero *Bixa* (Bixaceae), *Oncoba* (Flacourtiaceae), *Clusia* (Clusiaceae), *Psidium* (Myrtaceae); flores com anteras porcidas que dependem da vibração (*buzz-pollination*) para a liberação dos grãos de pólen, como é o caso de várias espécies do gênero *Cassia* (Leguminosae), *Sauvagesia* (Ochnaceae), *Solanum* (Solanaceae), *Tibouchina* (Melastomataceae), entre outras (Dressler 1982; Bezerra & Machado 2003).

No que se refere ao néctar, as Euglossini são capazes de explorar uma ampla variedade de tipos florais em busca deste recurso e, por terem línguas longas, conseguem explorar flores com formatos tubulares, que geralmente não são acessíveis a outras abelhas com línguas mais curtas (Schlindwein 2000, 2004). Flores com essas características e que são importantes para as Euglossini são particularmente comuns entre Apocynaceae, Bignoniaceae, Convolvulaceae, Gesneriaceae, Marantaceae, Rubiaceae, Zingiberaceae e Verbenaceae (Dressler 1982; Ackerman 1985). A maioria destas famílias possuem flores com nectários situados na parte basal da corola, que frequentemente são tubulares, longas e estreitas.

As fêmeas podem utilizar resinas vegetais puras ou misturadas ao barro, areia ou secreções glandulares na construção do ninho (Dressler 1982; Zucchi *et al.* 1969; Michener 1974, 2000; Roubik 1989). Essas resinas são, na maioria das vezes, coletadas em ferimentos no tronco de árvores, mas existem também algumas flores de angiospermas que apresentam glândulas que produzem resina (“flores de resina”) para atrair essas abelhas, como ocorre em *Dalechampia* (Euphorbiaceae) e *Clusia* (Clusiaceae) (Armbruster 1996; Lopes & Machado 1998).

Uma das características mais peculiares das abelhas Euglossini é a coleta de substâncias aromáticas. Diferentemente do néctar, que é explorado por machos e fêmeas, as substâncias aromáticas são coletadas apenas por machos (Dressler 1982;

Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005; Darrault *et al.* 2006; Andrade-Silva *et al.* 2012). Essas substâncias são uma recompensa floral e, na maioria das vezes, a única (Darrault *et al.* 2006). Elas são produzidas em glândulas florais conhecidas como osmóforos e, em geral, são substâncias da classe dos terpenos e aromáticas. Plantas que produzem perfume como recompensa floral para polinizadores são encontradas em diversas famílias vegetais neotropicais, tais como Amaryllidaceae, Euphorbiaceae, Gesneriaceae, Solanaceae, Theaceae, mas principalmente em Araceae e Orchidaceae (Dodson 1966; Dressler 1982; Ramirez *et al.* 2002; Cameron 2004; Darrault *et al.* 2006). Além das flores, essas abelhas podem coletar substâncias químicas de outras fontes naturais, tais como madeira e frutas em decomposição, feridas em tecidos vegetais, fungos e até mesmo fezes de animais carnívoros (Zucchi *et al.* 1969; Rebêlo & Garófalo 1991; Whitten *et al.* 1993).

Para a coleta dessas substâncias químicas, os machos apresentam uma série de adaptações morfológicas e comportamentais. Ao pousarem na fonte de cheiro, eles raspam a superfície com os pelos de seus tarsos anteriores. Após um breve período de raspagem, os machos levantam voo, pairam por alguns segundos e transferem as substâncias coletadas para uma estrutura dilatada nas tíbias posteriores (órgão tibial), que apresentam uma superfície interna grande para o armazenamento das substâncias (Dodson 1966). Após a transferência, os machos podem pousar novamente na fonte de cheiro e repetir todo o processo de coleta e transporte de substâncias, até que eles estejam “saciados” com aquela(s) substância(s) (Eltz *et al.* 2005). Dessa forma, os machos produzem perfumes espécie-específicos que podem ser armazenados por um longo tempo e emitidos durante o comportamento de corte sexual, onde ocorre a vaporização dos perfumes com ajuda dos tufo de pelos que estão presentes nas tíbias das pernas médias (Bembé 2004).

A exata função desses compostos químicos coletados pelos machos ainda não está bem esclarecida, mas há certo consenso na literatura de que eles estejam envolvidos de certa forma em sua biologia reprodutiva (Vogel 1983). A ideia mais aceita atualmente, sugere que os perfumes armazenados desempenham um papel central na sinalização sexual, permitindo presumivelmente o reconhecimento específico da espécie e/ou atuando como um possível sinal de aptidão masculina (Zimmermann *et al.* 2009; Weber *et al.* 2016). Os perfumes dos machos representam, portanto, um fenótipo comportamental e quimiossensorial, no qual podemos estudar

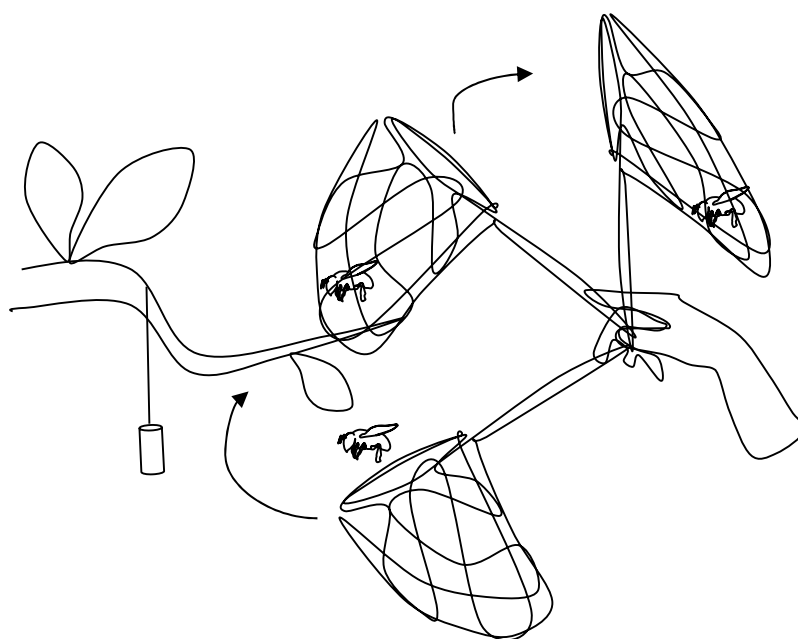
a evolução da sinalização sexual, de espécies intimamente relacionadas (Weber *et al.* 2016).

3.6 Iscas de odores como ferramenta para o estudo de Euglossini

Vogel (1966) foi um dos primeiros pesquisadores a entender que os machos de abelhas Euglossini coletavam substâncias químicas em flores de orquídeas. Após essa descoberta, uma série de estudos procurou identificar os componentes químicos que constituíam esses perfumes florais. Com isso, foi possível sintetizar esses compostos e utilizá-los como iscas de cheiro para atrair machos de Euglossini nas mais diversas formações vegetais dos neotrópicos. Desde então, o número de inventários de abelhas Euglossini utilizando as iscas de cheiro cresceu drasticamente, o que resultou no aumento de praticamente 50% das espécies descritas em menos de meio século (Kimsey & Dressler 1986; Grandolfo *et al.* 2013). O uso do método de iscas de cheiro representou um marco no estudo de diversos aspectos da história natural dessa tribo. Além de estudos voltados para a avaliação da abundância, riqueza e sazonalidade de comunidades de abelhas Euglossini, foi possível também entender outros aspectos da biologia desses animais. Entre esses, estudou-se seu comportamento e a interação com as orquídeas, por meio da identificação dos polinários e/ou polínias, que são massas de grãos de pólen com uma substância viscosa (viscídeo), presente nas flores de orquídeas e que ficam aderidos ao corpo das abelhas após as visitas. Além disso, foram realizadas investigações considerando a fragmentação/destruição de habitat (Dressler 1982; Roubik & Ackerman 1987), assim como estudos de dinâmica (Roubik 2001) e genética de populações (Roubik *et al.* 1996) e estratégias de conservação (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). Foram avaliadas a riqueza e diversidade dessas abelhas em matas remanescentes (Becker *et al.* 1991) e a capacidade na dispersão de algumas espécies (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005).

A utilização de iscas de odores na atração e coleta de machos de abelhas Euglossini é uma técnica muito conhecida e amplamente utilizada (Rebêlo 2001), uma vez que se pode padronizar o tipo de odor usado, assim como a quantidade de armadilhas inseridas por área e o tempo de amostragem da armadilha. A metodologia consiste simplesmente em colocar as essências em algodão, papel filtro ou papel higiênico e pendurar essa isca em troncos de árvores. Após alguns minutos da

aplicação dos aromas sintéticos, os machos dessas abelhas se aproximam e se aglomeram nas iscas, quando pousam e começam a coletar as substâncias artificiais (Fig. 2). É nesse momento que as abelhas podem então ser coletadas com o auxílio de redes entomológicas (Becker *et al.* 1991; Oliveira *et al.* 1995).

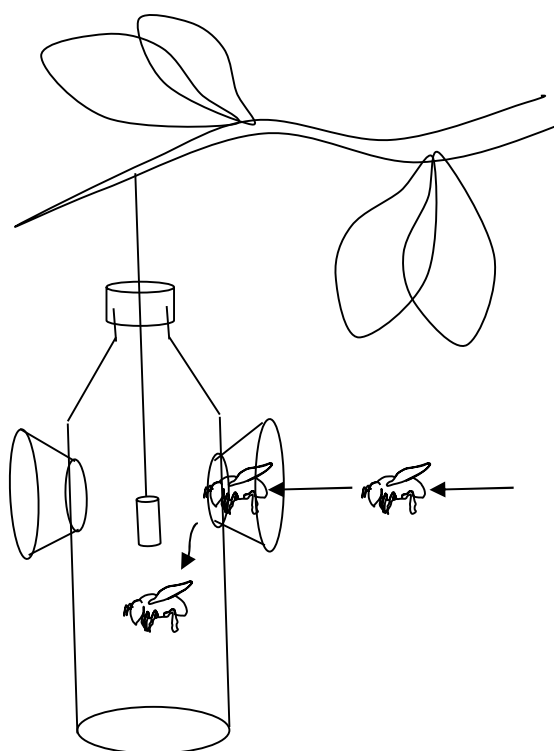


Fonte: autora, 2022.

Figura 2. Desenho esquemático da armadilha de coleta ativa com algodão.

Uma segunda forma de amostrar Euglossini com iscas é a partir da técnica passiva que passou a ser empregada mais recentemente (Carvalho *et al.* 2012). Nessa técnica, a armadilha é constituída por uma garrafa de refrigerante transparente com dois (ou três) orifícios laterais onde é introduzida a parte superior invertida de outra garrafa, que funciona como uma entrada para a armadilha. No interior da armadilha são penduradas as iscas de cheiro. Nas entradas são colados grãos de areia para facilitar a entrada das abelhas nas armadilhas. As armadilhas são então penduradas e deixadas no local de amostragem por um período de tempo determinado pelo pesquisador. Uma vez aprisionadas na armadilha, as abelhas têm dificuldade para sair, por não conseguirem se fixar na parede interior das garrafas (muito lisas) (Fig. 3). Isso facilita a amostragem por não requerer que o coletor fique ativamente coletando. Além disso, padroniza as coletas, permitindo uma comparação

mais apropriada entre diferentes localidades, e reduzindo o “efeito do coletor” (pessoas mais experientes conseguirão coletar mais abelhas por serem mais treinadas para tal) (Ramalho *et al.* 2009). Esses métodos têm sido usados na catalogação de espécies que ocorrem nas florestas da América Central e do Brasil, onde levantamentos sistematizados de Euglossini têm sido realizados em vários estados (Becker *et al.* 1991; Oliveira *et al.* 1995).



Fonte: autora, 2022.

Figura 3. Desenho esquemático da armadilha de coleta passiva.

3.7 Euglossini: potenciais modelo de estudos

O estudo das abelhas Euglossini em ecossistemas tropicais é de extrema importância quando se considera a preservação da fauna e da flora. A partir da década de 1990, foram desenvolvidos muitos estudos com o objetivo de avaliar a estrutura e os aspectos das comunidades de abelhas Euglossini em Florestas Estacionais Semidecíduais (Rebêlo & Garófalo 1997; Peruquetti *et al.* 1999; Souza *et al.* 2005). Esses estudos trouxeram novas informações sobre aspectos da biologia e ecologia deste grupo de abelhas. Foram obtidas diferenças em termos de riqueza e composição de espécies entre áreas fitofisionomicamente similares, podendo ser

explicadas por determinadas razões. Uma destas razões seria a influência de condições ambientais (climáticas e geográficas) distintas ao longo da distribuição destas Florestas Estacionais Semidecíduais, ocorrendo ao longo de uma ampla região geográfica sob diferentes regimes climáticos, edáficos, topográficos, históricos e socioeconômicos (Silveira 2014).

As abelhas Euglossini se destacam como potenciais modelos de estudo devido ao extenso conhecimento taxonômico, sua grande importância na polinização das plantas, existência de espécies sensíveis a alterações do habitat (consideradas bioindicadores) e alta dependência de ambientes florestais (Silveira 2014). A maioria dessas abelhas sofrem com restrições na sua distribuição geográfica devido a alterações do habitat, como é o caso, por exemplo, de *Euglossa analis* Westwood, 1840 que está restrita a áreas florestais (Silveira *et al.* 2002). No estudo sobre monitoramento de Euglossini, antes e depois das manchas florestais serem isoladas, foi observado um declínio do número destas abelhas nos fragmentos de habitat isolados, podendo ser devido à presença das áreas abertas, impossibilitando seu deslocamento (Powell & Powell 1987). Isso mostra o impacto da fragmentação do habitat sobre a dispersão, abundância e riqueza de Euglossini, assim como nos serviços de polinização por elas prestados (Tonhasca *et al.* 2002).

Embora a percepção de que o desmatamento florestal (retirada da vegetação) impacte as populações de machos de Euglossini, há evidências que isso traz condições propícias ao estabelecimento e à dispersão de espécies adaptadas a áreas abertas (Silveira *et al.* 2002; Grandolfo *et al.* 2013), pois, algumas comunidades de Euglossini foram caracterizadas pela presença de espécies resilientes com alta tolerância a áreas abertas perturbadas ou sem florestas (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005; Nemésio *et al.* 2015; Cândido *et al.* 2018; Cordeiro *et al.* 2019). Esse é o caso, por exemplo, de *Eulaema nigrita* e *Euglossa cordata* (Silveira *et al.* 2002; Grandolfo *et al.* 2013). Além do mais, Rocha-Filho *et al.* (2020) demonstraram que a abundância e riqueza de espécies em ambientes de transformação antrópica, não é necessariamente reduzida, uma vez que paisagens de áreas de florestas nativas e antrópicas, apresentam fortes diferenças em relação a fenologia da comunidade, de espécies e na composição filogenética (Harrison *et al.* 2017). Assim, características ecológicas, por exemplo o tamanho corporal, os períodos de atividade e o comportamento social, permitem que algumas dessas espécies de abelhas colonizem

áreas com transformações antrópicas, como por exemplo, áreas urbanas (Banaszak-Cibicka & Żmihorski 2012). Portanto, o efeito da transformação do habitat, ocasionalmente pode favorecer algumas espécies em detrimento de outras, embora a grande maioria das Euglossini seja impactada negativamente.

Segundo Armbruster (1993), os machos de Euglossini podem se concentrar em áreas específicas, possivelmente pela disponibilidade de recursos nessa área. Tonhasca *et al.* (2002) observaram altas densidades de machos de *El. nigrita* e *El. cingulata* ao redor de áreas com o solo exposto, observando ainda que áreas abertas não têm impedido algumas espécies de Euglossini de se moverem de um fragmento para outro fragmento de mata atlântica na busca dos compostos aromáticos. O voo entre diferentes fragmentos, no entanto, pode ser interrompido caso estes estejam a distâncias muito grandes uns dos outros (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). No território brasileiro, essas abelhas têm sido predominantemente amostradas em áreas de florestas tropicais úmidas (como é demonstrado na maioria dos trabalhos) do norte ao sul do país, enquanto amostragens em áreas dentro do domínio da Caatinga são claramente mais escassas (Darrault *et al.*, 2006; Dressler, 1982; Roubik, 2004).

3.8 Euglossini na Caatinga

A Caatinga ocupa aproximadamente 912.529 km² do território brasileiro, sendo a maior parte no Nordeste. Esses grandes sistemas socioecológicos, não possuem fronteiras estáveis, a Caatinga apresenta um clima com temperaturas médias anuais, variando entre 25°C a 30°C. É uma região quente e na maior parte semiárida com grande precipitação/evapotranspiração, baixa pluviosidade e distribuição irregular, com precipitações podendo atingir entre 600 e 1000 mm por ano, algumas áreas da região pode recebe menos de 400 mm e outras pode chegar a mais de 1200 mm. A vegetação é classificada como heterogênea (fisionomicamente) e é decorrente de diversas variáveis condicionantes, como altitude, clima, relevo e solo (Silva *et al.* 2017).

A Caatinga tem sido classificada, recentemente, como parte das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas, exibindo pelo menos 13 fisionomias diferentes (Pennington *et al.* 2009; Silva *et al.* 2017). Nas alterações provocadas pelo desmatamento, ela é a terceira floresta mais degradada, perdendo somente para a Floresta Atlântica e o Cerrado no Brasil (Myers *et al.* 2000). Devido ao extrativismo e

à agropecuária, estima-se que 80% da vegetação nativa encontra-se completamente modificada, a maioria dessas áreas apresentando-se em estágios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (Araújo Filho 1996). E em consequência disso, há grandes extensões com a desertificação já instalada. De fato, existe uma relação estreita entre a degradação, a vegetação e os solos, que se inicia com as modificações que diminuem a presença da cobertura vegetal por períodos prolongados, aumento dos processos erosivos e deterioração das propriedades físicas, químicas, biológicas e econômicas do solo (CCD 1995). Nas distintas fisionomias da Caatinga, a sobreposição é grande se comparada a preservação e fisionomias das demais florestas, com variação fisionômica e composição florística. A vegetação da caatinga apresenta estratos fisionômicos, riqueza e diversidade de espécies relacionados às variações climáticas e antrópicas (Coimbra-Filho & Câmara 1996).

A apifauna da Caatinga ainda é pouco conhecida (Zanella & Martins 2003). Atualmente, a Caatinga é uma das florestas menos protegidas e existem poucos estudos que avaliam o efeito da fragmentação/destruição de sua paisagem nas comunidades de insetos, inclusive de Euglossini, principalmente quando se compara com outras florestas. Silva *et al.* (2017) nos mostra que a cobertura original da caatinga cobre aproximadamente 912.529 km². Correspondendo a 10,7% da cobertura do Brasil, com fragmentos de vegetação. Além da fragilidade devido a redução das áreas com vegetação, gerou-se um isolamento dos fragmentos, com isso, há maior susceptibilidade à degradação. As amplas áreas degradadas são resultado de práticas que colaboram na transformação de pastagens e cultivos, além do crescimento da população e das cidades, o que aumenta ainda mais a pressão sobre os bens naturais. Diante desse cenário alarmante, a vegetação da caatinga corre o risco de desaparecer, devido ao desmatamento, a alteração e a ocupação humana, que impactam o ambiente e destroem os recursos naturais (Sá & Angelotti 2009; Silva *et al.* 2017). Segundo Silva *et al.* (2017), a principal ameaça na diversidade biológica é a perda de habitat, já que grande parte da Caatinga foi degradada, ocasionando a destruição e fragmentação dos habitats. Portanto, o estudo de táxons (potencialmente conhecidos como bioindicadores de qualidade de habitat) são importantes para o diagnóstico e montagem de estratégias de conservação nos remanescentes de Caatinga, a exemplo das abelhas Euglossini.

A diversidade de Euglossini em geral é maior em áreas mais úmidas, como demonstrado na maioria dos trabalhos. Existem poucos estudos em áreas de Caatinga (Rebêlo 2001; Lopes *et al.* 2007) e essa baixa diversidade pode ser um reflexo justamente dessa pequena amostragem, principalmente em áreas hiperxerófilas, onde basicamente apenas *Euglossa cordata* e *Eulaema nigrita* são encontradas (Zanella 2000; Rebêlo 2001; Silveira *et al.* 2002; Lopes *et al.* 2007). Até mesmo nas florestas montanhosas, circundadas por florestas secas, a riqueza de Euglossini é menor se comparada com os valores da Mata Atlântica e da Amazônia (Rebêlo 2001). Até recentemente, os estudos apontavam para algo em torno de 3 espécies de abelhas para a região, sendo estas *El. nigrita*, *Eg. securigera*, *Eufriesea nordestina* (Zanella 2000). Posteriormente, Martins *et al.* (2003) referiu-se a *Eg. melanotricha* (Moure, 1967) e Wittmann *et al.* (2000) registrou a *Eg. cordata*. Atualmente são conhecidas cinco espécies para a Caatinga, porém, estudos mais recentes, que incluíram áreas de mata ciliar na amostragem, apontaram a ocorrência de espécies típicas de mata atlântica (por exemplo, *Eg. imperialis*, *Eg. truncata* e *El. cingulata*), sugerindo que as matas ciliares podem atuar como biocorredores para essas abelhas e desempenham um papel importante na manutenção da diversidade desses polinizadores na Caatinga (Moura & Schlindwein 2009).

A mata ciliar garante a manutenção de diversos grupos de polinizadores, oferecendo recursos forais ao longo do ano e por isso é de altíssima relevância ecológica (Moura & Schlindwein 2009). A grande maioria das espécies de Euglossini, se restringem a ambientes florestais e não saem das florestas fechadas (Milet-Pinheiro & Schlindwein 2005). Algumas espécies de Euglossini podem ser consideradas como bioindicadores ambientais de áreas perturbadas (Grandolfo *et al.* 2013). Enquanto procuram por diferentes recursos florais, fêmeas e machos de Euglossini agem como polinizadores de pelo menos 30 famílias vegetais (Dressler 1982). Por isso é importante conhecer a diversidade desses animais em áreas distintas, bem como entender se os processos de degradação ambiental na Caatinga podem interferir na composição de comunidades de abelhas Euglossini. Nessa perspectiva, o conhecimento de como essas abelhas reagem a diferentes usos antrópicos podem servir de subsídio para propor ações para sua conservação em áreas da Caatinga, garantindo assim o serviço de polinização que elas provêm.

Segundo Rodrigues *et al.* (2018), as Euglossini são consideradas apropriadas para pesquisas relacionadas às consequências diretas e indiretas das fragmentações das florestas. Ultimamente os estudos têm demonstrado que a capacidade de dispersão dessas abelhas, utilizando a matriz que circunda os fragmentos florestais, é um dos principais fatores determinantes para a persistência de algumas dessas espécies em áreas fragmentadas. Além disso, esses insetos têm grande importância como bioindicadores da qualidade do ambiente, como mencionado acima. Dessa maneira, fica evidente a necessidade de estudos para a determinação de espécies que ocorram fora de florestas úmidas, já que trabalhos que avaliem os efeitos do uso antrópico sobre comunidades de abelhas Euglossini são escassos, principalmente em áreas de Caatinga. De fato, esse trabalho é o primeiro a levantar essa temática em áreas de Caatinga.

A cidade de Petrolina – PE está situada no leito do submédio do Rio São Francisco, dentro do domínio da Caatinga. Ela é uma cidade polo da fruticultura irrigada, sendo o segundo maior produtor de uvas e um dos maiores exportadores de manga do Brasil (Prefeitura de Petrolina 2022). A vegetação original da região está dando cada vez mais espaço a áreas urbanas e plantações irrigadas, de modo que a cidade apresenta vegetação com áreas completamente alteradas e alguns poucos remanescentes de vegetação nativa (como por exemplo algumas áreas de reserva) e pequenas faixas muito antropizadas de matas ciliares. Assim, no município de Petrolina, encontramos um mosaico complexo de diferentes níveis de degradação ambiental e tipos de uso, o que confere um cenário muito promissor para se investigar como as populações de Euglossini reagem à expansão antrópica em áreas de Caatinga. Entender como essas abelhas reagem à antropização é extremamente importante, uma vez que elas são componentes-chave para a sustentabilidade do meio ambiente, através do serviço de polinização que elas proveem, seja para os ecossistemas naturais seja para os sistemas agroflorestais.

4 WHERE THE RISK IS MORE INTENSE: RIPARIAN FORESTS KEEP THE EUGLOSSINE BEES COMMUNITY MOST AFFECTED BY ANTHROPIC DISTURBANCE IN THE CAATINGA DRY FOREST

Manuscrito submetido à revista Urban Forestry and Urban Greening

Aline Mariza Costa Mariano¹, Arthur Domingos-Melo¹, Eduardo Gonçalves da Silva¹, Antonio Marcos dos Santos⁴, Márcia de Fátima Ribeiro³, Paulo Milet-Pinheiro^{1*}

¹Universidade de Pernambuco, Campus Petrolina, Colegiado de Biologia, Laboratório de Interações Ecológicas e Semioquímicos, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental, Rodovia BR 203, Km 2, s/n - Vila Eduardo, Petrolina - PE

²Universidade de Pernambuco, Campus Petrolina, Colegiado de Geografia, Grupo de Pesquisa Sociedade e Natureza no Vale do São Francisco, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental, Rodovia BR 203, Km 2, s/n - Vila Eduardo, Petrolina - PE

³Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, zona rural, CP 23, 56302-900, Petrolina, PE, 87-3866-3600, fax: 87-3866-3815

*Corresponding author: paulo.milet@upe.br

Abstract

Anthropogenic disturbances exert significant negative effects on biodiversity, consequently compromising the vital ecosystem services it provides. When considering ecosystem and human safety, bees are one of the key players as they provide essential pollination services for both natural and agricultural ecosystems. Nevertheless, these insects are increasingly threatened by urban expansion and inappropriate land use practices. Therefore, understanding the impact of different anthropogenic disturbances on bee communities is essential to safeguard ecosystem functioning and human well-being. In this study, we made use of a well-known bee group, i.e., euglossine bees (Euglossine: Apidae), and of the fast-growing city Petrolina, to investigate the impact of anthropogenic disturbance on bee community. Petrolina is located in the Caatinga Dry Forest along the São Francisco River, in a region where the original vegetation is progressively being replaced by urban areas and irrigated plantations, resulting in a landscape where the city features extensively transformed vegetation, with only a few remnants of native vegetation and small, heavily impacted strips of riparian forests. Using scent traps, we monthly collected male euglossine bees in seven sampling areas, with varying degrees of anthropogenic use/disturbance. Land use in each area was characterized through pre-georeferenced images and mapping software and from these data we calculated an Anthropogenic Transformation Index. Our results demonstrate a negative impact of anthropogenic disturbance on the euglossine bee community, while proximity to the river exhibits a positive effect. However, what is particularly concerning is the interaction effect observed between these two conditions, which reveals that as we move closer to the river, the parameters of bee community, including abundance, richness, and diversity, are increasingly compromised by anthropogenic disturbances. In conclusion, our study shows the urgent need to implement effective conservation strategies and sustainable management practices to protect and restore riparian forests in Caatinga areas, safeguarding their associated biota and the valuable ecosystem services they provide.

Keywords: Euglossini, Orchid bees, Conservation, Scent baits, Pollination.

4.1 Introduction

Anthropogenic disturbances affect various aspects of ecosystem functioning with drastic consequences on biodiversity (Hautier et al., 2015; Hooper et al., 2012). It is important to highlight that different species vary considerably in disturbance response, with a very small group of species benefiting from the disturbance and proliferating, irrespective of whether they are exotic or native, while a much larger proportion of native species succumb to the disturbance – they are referred as "winners" and "losers" respectively (Baskin, 1998; McKinney and Lockwood, 1999; Morris and Heidinga, 1997; Tabarelli et al., 2012). As winners replace losers in the local area, a process of biotic homogenization occurs, hindering the ability of native biotas to reorganize in the face of landscape modifications that result from anthropogenic activities (Lôbo et al., 2011). This scenario can be particularly intense in specific regions, such as in seasonal tropical dry forests, where anthropogenic disturbances strongly impact natural resources, as human populations often depend on extractivism for subsistence (Singh, 1998; Specht et al., 2015). Furthermore, the influence of infrastructure development in habitats adjacent to urban areas deserves attention, as it is one of the main causes of anthropogenic disturbances (Mattison and Norris, 2005). Therefore, it is essential to conduct studies that showcase the effects of habitat disturbance on specific taxa in tropical dry forests, particularly in regions adjacent to urban contexts.

Urban areas generate significant modifications to the landscape and environment, thereby impacting interspecific interactions within insect communities (McKinney, 2006). Among insect, bees are an important research focus since they provide essential pollination services for both agriculture and natural ecosystems but are greatly threatened by inappropriate land use practices (Cardoso and Gonçalves, 2018; Kerr et al., 2015; Potts et al., 2016, 2010). Bees possess a range of behavioural and physiological characteristics that can either decrease or increase their resilience to the impacts of disturbance (Benjamin et al., 2014). Furthermore, bees heavily depend on their habitat to acquire vital resources necessary for their survival and reproduction, including nectar, pollen, resins, and scents (Michener, 2007). As a result, they exhibit a high sensitivity to land use modifications, including habitat destruction and fragmentation ((Tonhasca et al., 2002). These anthropogenic actions significantly

impact the environment, particularly the local bee communities, by reducing food sources and nesting areas while increasing the exposition to pesticide and predation risk (Goulson et al., 2018; Potts et al., 2016; Roulston and Goodell, 2011). Consequently, areas with heavily urbanized and extensively agricultural landscapes typically exhibit lower bee abundance and diversity compared to semi-natural areas (Bracken and Low, 2012; Kennedy et al., 2013; Winfree et al., 2011).

In an alternative scenario, specific ecological characteristics, such as thermal tolerance and nesting site plasticity, can facilitate bee colonization in urban areas (Banaszak-Cibicka and Żmihorski, 2012). This implies that the urban landscape act as a filter in the bee community, limiting the occurrence of species with more specific ecological requirements. As a result, bee diversity and richness can remain stable over time in urban environments. In this context, cities can serve as important habitats for certain groups of bees, and a conservation strategy that take into account the effect of different levels of urbanization might represent an appropriate way for preserving bee biodiversity in such habitats (Banaszak-Cibicka and Żmihorski, 2012; Ribeiro and Taura, 2019).

Among the various groups of bees, those belonging to the tribe Euglossini stand out as an interesting system for studying the impacts of anthropogenic disturbances. This is because of their crucial role in plant pollination and their sensitivity to habitat alterations, rendering them valuable bioindicators (Darrault et al., 2006; Dressler, 1982; Grandolfo et al., 2013; Milet-Pinheiro and Schlindwein, 2005; Rodrigues et al., 2018). These bees depend on specific characteristics to survive in the environment, including a variety of resources and suitable environmental conditions. Females collect pollen from various plant families to feed their larvae, using open anthers or buzzing poricidal anthers (Bezerra and Machado, 2003; Darrault et al., 2006; Dressler, 1982). In addition, females rely on resins obtained from flowers and other plant sources to construct their nests (Armbruster, 1996; Lopes and Machado, 1998). On the other hand, males collect and store chemicals from natural sources (mainly flowers), using morphological and behavioral adaptations such as hairs on their anterior tarsi and a tibial organ on their hind legs (Dodson, 1966; Eltz et al., 2005). The stored perfumes play an important role in sexual signalling and species recognition, acting as a signal of male fitness (Weber et al., 2016; Zimmermann et al., 2009). Both males and females rely on nectar as energy source, seeking it predominantly from flowers with long,

specialized tubes due to their long tongues (Ackerman, 1985; Dressler, 1982; Roubik and Hanson, 2004). Therefore, it is reasonable to expect that the depletion of plant sources providing these essential resources can have negative effects on bees

Regarding environmental conditions, bees of the tribe Euglossini are found in a wide geographical range, subjected to different climates, soil characteristics, and topography, which have a significant impact on the composition and species richness of their communities (Peruquetti et al., 1999; Rebêlo and Garófalo, 1997; Silveira et al., 2002; Souza et al., 2005). These bees are predominantly found in areas of tropical rainforests, on which they strongly depend (Darrault et al., 2006; Dressler, 1982). In tropical rainforests, euglossine bees exhibit higher species richness and abundance, with records of 62 species in the Atlantic Forest and 127 species in the Amazon Rainforest, while few species are recorded in dry forest environments (Dressler, 1982; Nemésio and Silveira, 2007; Peruquetti et al., 1999; Zanella, 2000). In the Caatinga, the largest seasonally dry tropical forest in the Neotropics, the studies performed so far have reported only five euglossine species, namely *Eufriesea nordestina*, *Euglossa securigera*, *Eg. melanotricha*, *Eg. cordata*, and *Eulaema nigrita* (Lopes et al., 2007; Martins et al., 2003; Zanella, 2000). However, small areas with vegetation resembling moist forests embedded within the Caatinga, such as mountainous regions and riparian forests, are capable of maintaining a higher diversity of euglossine bees in this environment (Moura and Schlindwein, 2009; Rebêlo, 2001). Riparian forests represent a special case as they are vegetative formations occurring along the banks of rivers, streams, and springs, playing a crucial role in the protection and conservation of water resources. In these areas, it is even possible to find euglossine species that are typical of the Atlantic Forest, highlighting the important role of this vegetation as biocorridors for these bees (Moura and Schlindwein, 2009).

The close relationship between euglossine bees and the environmental conditions of humid forests is exemplified by the negative impact caused by the fragmentation of these areas on their communities. Although some species are tolerant to open areas or resilient to disturbances, in most cases, habitat loss due to the fragmentation of humid forests results in population declines of these bees (Powell and Powell, 1987; Tonhasca et al., 2002). This scenario is even more concerning in the Caatinga, where moist habitats are naturally limited. The Caatinga, recently classified as part of the Seasonally Dry Tropical Forests, presents at least 13 different

physiognomies but is one of the most degraded forests due to excessive exploitation and human occupation (Myers et al., 2000; Pennington et al., 2009). In this context, riparian forests in the Caatinga face serious risks and challenges. These areas are subject to degradation and destruction due to intense anthropogenic pressure. Deforestation for agricultural purposes, removal of native vegetation for infrastructure development, such as roads and dams, and water contamination by pollutants are among the main impacts in the Caatinga, which affect strongly riparian forests (D. A. O. Silva et al., 2020; Silva-Araújo et al., 2020).

Given the aforementioned scenario, understanding how euglossine bees respond to anthropogenic disturbances and depend on riparian forests can provide crucial information for proposing effective conservation strategies and management practices to preserve the biodiversity and ecological integrity of the Caatinga dry forest. Therefore, in this study we investigated the impact of anthropogenic transformation on the euglossine bee community in the Caatinga region, as well as the potential influence of different river distances as a proxy for riparian forest occurrence. We used as model a set of locations in Petrolina, a Brazilian Northeast city located in the midst of the Caatinga domain along the banks of the São Francisco River. By examining the effects of human-induced changes on the composition and structure of euglossine bee communities, this research contributes to our understanding of the ecological consequences resulting from land use transformation in the Caatinga ecosystem. Additionally, evaluating the relationship between bee communities and river distance can provide valuable insights into the role of riparian habitats as potential refuges or corridors for these bees.

4.2 Material and Methods

Study Site and Sampling Areas

The study was conducted in the city of Petrolina, Pernambuco, in the Northeast region of Brazil (Fig 1 – A). Petrolina is characterized by a semi-arid climate with an annual precipitation of 435 mm, classified as BShw according to the Köppen classification system, featuring concentrated summer rainfall and an average air temperature of approximately 24.8 °C (Heriberto and Teixeira, 2010; Jatobá et al., 2017). It is situated within the sub-middle course of the São Francisco River (the

second-largest river in Brazil and the largest entirely within Brazilian territory) and falls within the domain of the Seasonally Dry Tropical Forest known as Caatinga. Petrolina is a prominent center for irrigated fruit production, ranking as the second-largest producer of grapes and one of the leading exporters of mangoes in Brazil (Prefeitura de Petrolina, 2022). The original vegetation in the region is progressively being replaced by urban areas and irrigated plantations, resulting in a landscape where the city features extensively transformed vegetation, with only a few remnants of native vegetation and small, heavily impacted strips of riparian forests.

Within the urban area, seven sampling areas were selected (Fig 1 B; Table 1) based on logistical considerations (accessibility, safety, and feasibility of sampling) as well as the specific attributes of interest in this study (different land use levels, anthropogenic disturbances, and varying distances from the riverbank). We ensured a minimum distance of approximately 2 km between each of the sampling points, which is more than twice the average flight distance of the bees (Milet-Pinheiro and Schlindwein, 2005). This precaution was taken to avoid potential spatial autocorrelation effects.

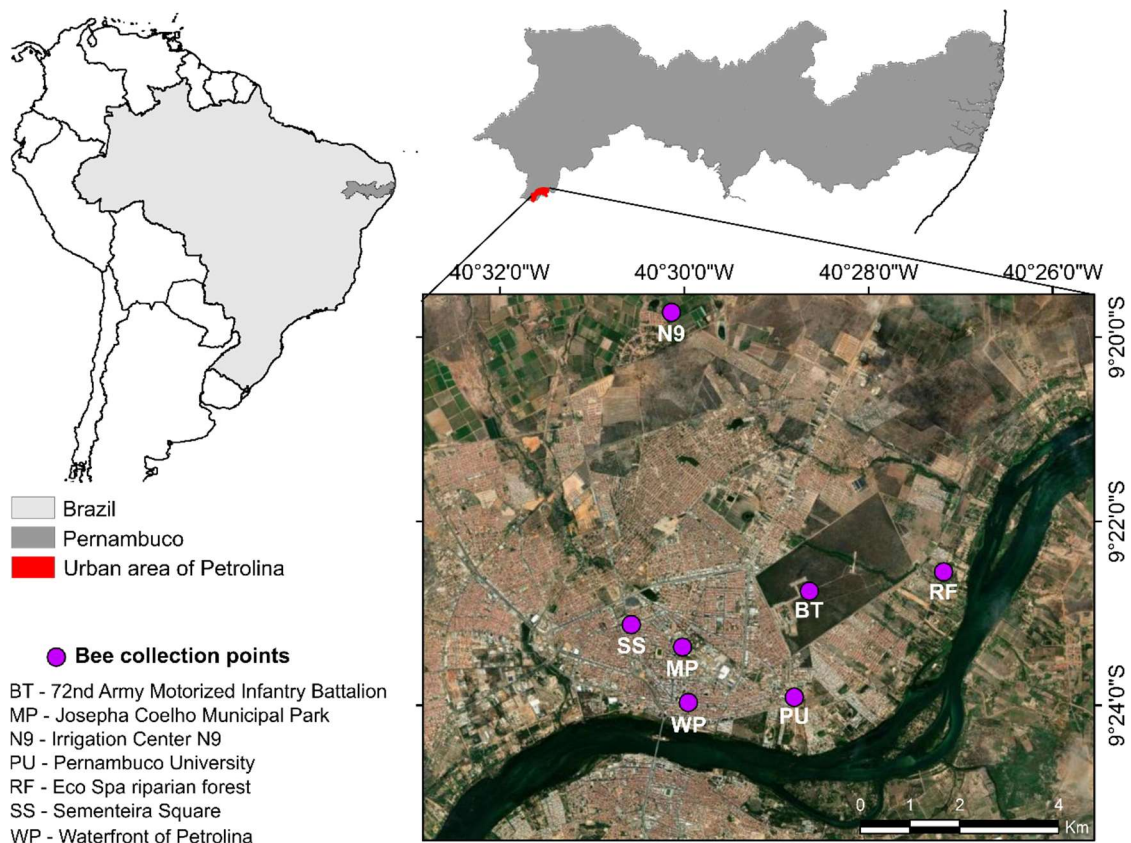


Figure 1 – Sampling sites of male euglossine bees within the urban area of Petrolina municipality, located along the São Francisco River in the State of Pernambuco, Northeast Brazil.

Table 1 – Description of the sampling areas for Euglossini bees in the city of Petrolina, Pernambuco, Northeast Brazil.

Area (abbreviation)	Latitude*	Longitude*	Description
Eco Spa riparian forest (RF)	9,37550°	40,44836°	Area under real estate expansion with an advanced degree of degradation yet containing patches of native riparian vegetation.
Irrigation Center N9 (N9)	9,32885°	40,50229°	An area of irrigated fruit cultivation situated between two mango (<i>Mangifera indica</i>) plantations.
72nd Army Motorized Infantry Battalion (BT)	9,37933°	40,47725°	An area of Caatinga characterized by arboreal and shrub vegetation that has remained unaltered since 1975 when it was a crop field (Tenente Rafael dos Santos Dantas, personal communication).
Pernambuco University (PU)	9,39859°	40,48008°	An experimental field of the university surrounded by a heavily urbanized area, featuring remnants of regenerating native vegetation (arboreal and shrub) within its boundaries.
Josepha Coelho Municipal Park (MP)	9,38951°	40,50028°	A tree-covered area consisting of both native and exotic plant species, regularly irrigated and extensively utilized for recreational purposes by the population.
Sementeira Square (SS)	9,38536°	40,50955°	An urban area located in close proximity to commercial establishments, residential houses, and schools.
Waterfront of Petrolina (WP)	9,40315°	40,50043°	A location on the bank of the São Francisco River where the riparian vegetation has been completely removed to make way for a recreational area.

*Geographic coordinates of the sampling areas were obtained using a GPS receiver device from the etrex 20 model by GARMIN, which uses the Global Positioning System via satellite.

Characterization of the sampling areas and calculation of the Anthropogenic Transformation Index (ATI)

Each of the areas was characterized based on two aspects. Firstly, the distance from the river, which served as a proxy for the potential occurrence of riparian vegetation in each area. This measure was obtained by determining the minimum linear distance from the focal collection point to the nearest riverbank, using Google Maps. Secondly,

we aimed to portray the level of anthropogenic disturbance present in the sampling areas. To achieve this, we employed the Anthropogenic Transformation Index (ATI), a method that assigns weighted scores to different land cover types, resulting in an index of anthropogenic pressure on natural resources (de Almeida et al., 2022; Gouveia et al., 2013). We chose the ATI because it allows us to synthesize the extent of area modification caused by human activities into a single value. The measurement of land cover types and the calculation of the index are described below.

We utilized a radius of 500 meters around each focal collection point to sample and characterize the type of anthropogenic land use. This distance was chosen considering that male euglossine bees generally avoid flights longer than 500 meters in areas with removed native vegetation (Milet-Pinheiro and Schlindwein, 2005). For the two areas located immediately along the riverbank, the reference point for tracing the 500-meter radius was adjusted perpendicularly until the river was no longer included within the analyzed area. This adjustment was made because water itself does not provide floral resources for bees, and therefore, considering water areas would be irrelevant for characterization purposes. Additionally, it would complicate the comparison with other areas that are not directly adjacent to the river.

Once the areas were delimited, we accessed drone-generated images available in a database at the Geotechnology, Environmental Monitoring, and Teaching Laboratory of UPE, Petrolina campus. In total, seven pre-georeferenced images were employed, corresponding to each study area. The collected images underwent an Object-Based Image Analysis (OBIA) process, which involved delineating and segmenting the images based on parameters such as object shapes, colors, color tones, and textures (Teixeira et al., 2015; Zhang et al., 2021). Each segmented area was associated with a land use class based on spectral information present in the images and field-verified vegetation coverage information (Cruz et al., 2008). The segmentation was performed using eCognition software in its trial version. The final maps' construction and the quantification of each mapped land use class were carried out using ArcGIS 10.3 software (available at the University of Pernambuco, Petrolina campus).

Having obtained the proportions of anthropogenic land use for each area, we calculated the ATI. The calculation of this index is given by the following equation: $ATI = \sum (\%Use \times Weight)/100$. Here, Use represents the area percentage of a specific land

use type, and Weight corresponds to the different land use types and their degree of anthropogenic alteration, ranging from 1 to 10, with 10 indicating the highest pressures. The studies by Nogueira et al. (2001), Rocha et al. (2009), Gouveia et al. (2013), and de Almeida et al. (2022) were used as a basis to determine the weights of the areas, along with observations made during the field collections. The ATI was developed by considering the percentage of land use classes identified in the classification process (Nogueira et al., 2001). The rules we applied to measure the anthropogenic pressure in the areas are presented in Table 2.

Table 2 – Land use classes and their respective weights utilized in the calculation of the Anthropogenic Transformation Index.

Classes	Weight*	Areas characterization
Exposed soil	10	Bare soil (no deciduous/evergreen vegetation)
Residential area	10	Area with housing, asphalt, pavement and buildings
Irrigated fruit growing	7	Fruit growing area
Degraded vegetation	4	Small patch of vegetation (deciduous/evergreen)
Secondary vegetation	3	Regeneration of natural vegetation (deciduous/evergreen) in the area
Others	0	Clouds, shadows and the water blade. They were not considered in the calculation of the Anthropic Transformation index.

*The weights of the classes follow (Nogueira et al., 2001), (Rocha et al., 2009), (Gouveia et al., 2013), and (de Almeida et al., 2022).

Abundance, richness, and diversity of Euglossini bee community

Euglossini (Apidae) is a tribe of neotropical bees including about 250 described species distributed from Northern Argentina to southern Mexico (Dressler, 1982; Nemésio and Silveira, 2007; Ramírez et al., 2002). The extensive taxonomic knowledge of the group, as well as the ease of implementing their sampling techniques, make them a highly suitable study model.

To sample the male euglossine bees, we employed scent baits, a well-known and widely used technique that allows for the standardization of the type of scent, the number of traps employed per unit area, and the sampling duration (Rebêlo, 2001). The methodology involves exposing synthetic compounds that are attractive to these bees in the environment. After a few minutes, the male bees approach in an attempt to collect the synthetic compounds, providing the opportunity for bee collection (Becker et al., 1991; Oliveira et al., 1995). For this study, we combined this technique with traps

consisting of a two-liters PET bottle with two lateral openings. The cut-off upper parts of two other bottles were inserted as side entrances to the trap. The inner surfaces of the two entrances were scraped to facilitate bee adhesion and entry into the traps (Nemésio, 2009; Roubik and Hanson, 2004). Inside each trap, we placed a 2 ml glass vial (Analitica) filled with cotton and a synthetic compound. The vials were filled with 1.5 ml of the following synthetic compounds: scatol, methyl salicylate, β -ionone, vanillin, benzyl acetate, eucalyptol, eugenol, veratrol, (*E*)-methyl cinnamate, benzyl benzoate, and geraniol. The vials filled with the synthetic compounds were placed inside the traps immediately before they were hung in the field.

Using this method, monthly samplings were conducted between September 2021 and August 2022 for each selected area (N = 12 samplings for each location). On each sampling day, eleven scent traps were hung at least 2 meters apart from each other. All collections were performed under similar weather conditions, on sunny days. The traps were set up at 8:00 a.m. and retrieved at 12:00 p.m., which corresponds to the peak foraging activity of male euglossine bees (Armbruster and McCormick, 1990).

After the exposure period in the field, the captured bees were euthanized in a 20 ml glass containing ethyl acetate and sorted according to the compound used, collection date, and location. The bees were then taken to the laboratory, where they were pinned, dried in an oven for 48 hours at 40°C, identified, and labeled with collection information. Identification was done using taxonomic keys and by comparing the specimens with bees from the collection of the Laboratory of Ecological Interactions and Semiochemicals, UPE Campus Petrolina (Nemésio, 2009; Roubik and Hanson, 2004). Sampling was authorized by ICMBio (permit number: 78784-1, ICMBio).

Statistical Analyses

Different metrics were used to analyze the euglossine communities, including abundance, richness, and diversity. The diversity of the communities in different areas was determined using the Shannon-Wiener index, which calculated species diversity per area using the formula: $H' = -\sum p_i (\ln p_i)$, where $P_i = n$ (number of individuals of a species) / N (total number of individuals in the area).

The effect of river distance and ITA on the richness and abundance of euglossine bees was assessed using Generalized Linear Mixed Models (GLMM) with a Poisson distribution. In these models, we included river distance and ITA, as well as

their interaction, as explanatory variables. We also included the different months in which the collections were conducted as random variables. Each model had different response variables, which were richness, total abundance of bees, and abundance of the two main sampled species (see results). The analyses were performed using the lme4 package (Bates et al., 2015) implemented in the R software (RCoreTeam, 2023).

4.3 Results

Characterization of the sampling areas and calculation of the Anthropogenic Transformation Index (ATI)

As anticipated by the selection criteria, the studied areas exhibited a wide range of distances from the river and were subjected to varying levels of disturbance. The areas closest to the river were the Riparian Forest (hereafter RF) and the Waterfront of Petrolina (WF), where collections were conducted near the riverbank. The majority of the other areas, i.e. the 72nd Motorized infantry Battalion (BT), the Experimental Station of the Pernambuco University (PU), the Josepha Coelho Municipal Park (MP) and the Sementeira Square (SS), were situated at intermediate distances from the river, ranging from one to three kilometers away from the riverbank. The Irrigation Center N9 (N9), on the other hand, was characterized by a long distance, exceeding eight kilometers.

Regarding land use types, we found a diverse range of conditions (Fig. 2). BT, N9, and RF exhibited the highest vegetation coverage. In BT, only two land use types were observed, namely secondary vegetation with small patches of exposed soil. This area had the highest vegetation coverage of all (89.63%), making it the most preserved area. In contrast, N9 was the only area that encompassed four land use types, including degraded vegetation, exposed soil, residential areas, and extensive coverage of irrigated fruit orchards. This area had the second-highest vegetation coverage, with 66.28% of the coverage consisting of fruit orchards (mango plantation). RF ranked third in terms of vegetation coverage, primarily characterized by degraded vegetation (61.55%). The remaining areas displayed three land use types, which were degraded/secondary vegetation, exposed soil, and a significant portion of residential areas. SS had the highest residential occupancy (85.96%), followed by WF (80.30%), MP (53.30%), and PU (40.66%). Finally, after data processing, we observed a wide

range of ITA values among the sampling areas (Table 3). The ITA scores varied from 3.6 in the most preserved area (BT) to 9.5 in the most degraded/anthropized area (SS).

Table 3 – Anthropogenic Transformation Index (ITA) of sampling areas for Euglossini bees in the city of Petrolina, Pernambuco, Northeast Brazil. (A zero value in the classes of the Anthropogenic Transformation Index indicates that this type of land use does not exist in the area, considering a 500m radius).

Classes	Areas						
	BT	RF	PU	N 9	MP	WF	SS
Exposed soil	1	3,6	2	1,6	1,8	0,4	0,8
Residential area	0	0,2	4	1	5,3	8	8,5
Irrigated fruit growing	0	0	0	4,6	0	0	0
Degraded vegetation	0	2,4	0	0,1	1,1	0,5	0,2
Secondary vegetation	2,6	0	1,1	0	0	0	0
ITA	3,6	6,2	7,1	7,3	8,2	8,9	9,5

*The weights of the classes follow (Nogueira et al., 2001), (Rocha et al., 2009), (Gouveia et al., 2013), and (de Almeida et al., 2022).

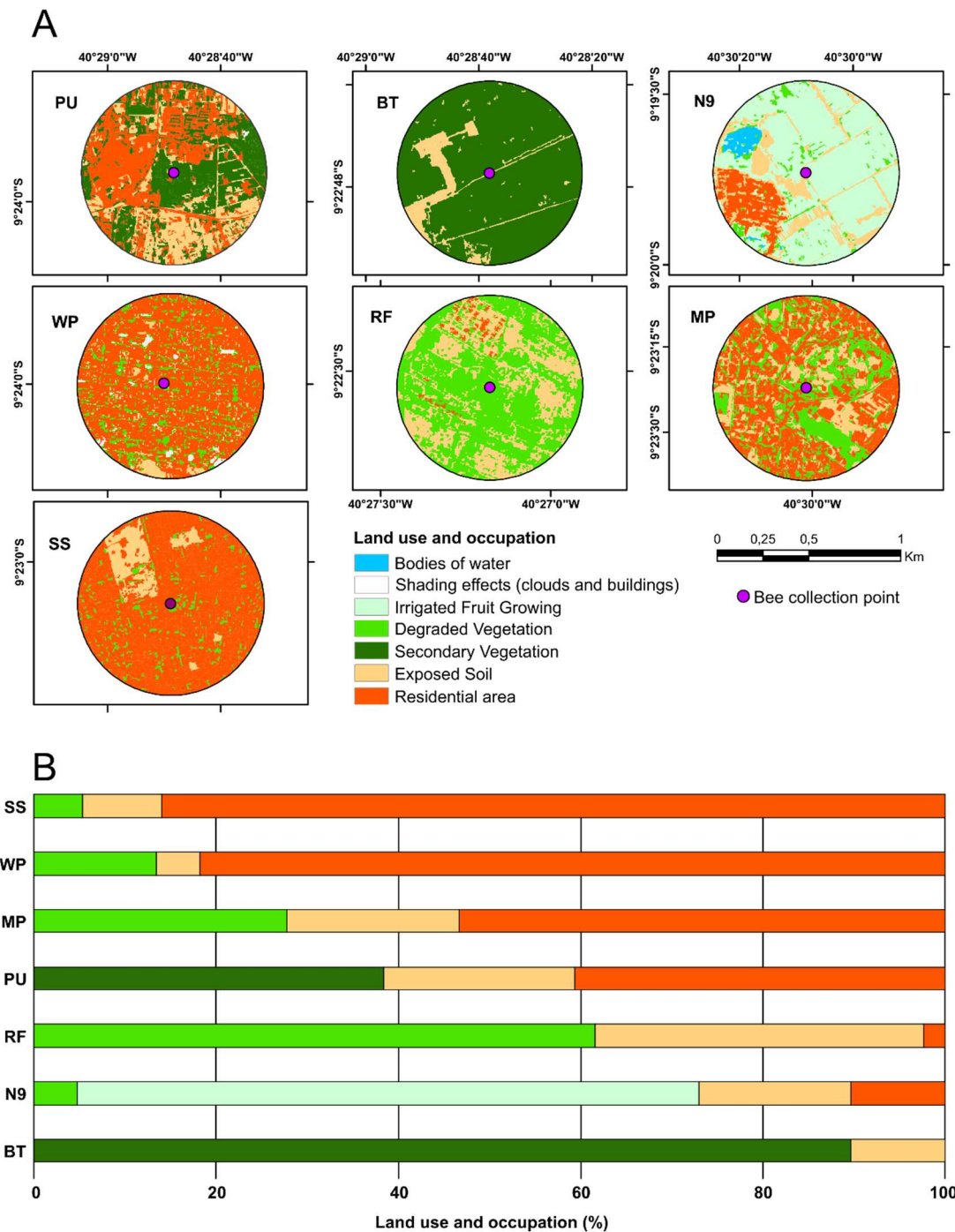


Figure 2 – Land use and land cover within the sampling areas of Euglossini bees in the urban area of Petrolina municipality, State of Pernambuco, Northeast Brazil. (A) Maps within a 500-meter radius from the collection points. (B) Bar chart illustrating the proportion of land uses and land cover in each area. (Details regarding the abbreviations of sampled locations can be found in Table 1 and Figure 1).

Abundance, richness, and diversity of euglossine bee community

We collected a total of 237 males of euglossine bees from eight species (Table 4). The most representative genus was *Euglossa*, with 172 individuals from seven species (of which, so far, only five have been adequately identified). *Euglossa cordata* was the most abundant species, with 150 individuals, representing 87.20% of the collected individuals of this genus. The other species were all rare, ranging from one (*Euglossa despecta*) to eight (*Euglossa melanotricha*) collected individuals. The other sampled genus was *Eulaema*, with 65 individuals of a single species, i.e. *El. nigrita*. Representatives of the other three Euglossini genera, namely *Aglae*, *Eufriesea*, and *Exaerete*, were not sampled.

The calculation of the Shannon-Wiener index indicated greater diversity for sampling areas near the river, i.e., $H'=1.07$ in RF and $H'=1.12$ in WF. The other areas presented an index ranging from $H'=0.27$ in MP and $H'=0.68$ in PU (Table 4).

When considering bee abundance, our results clearly demonstrate that areas close to the river have more bees compared to more distant areas. Regarding ITA, except for BT (which proved to be an outlier), lower values of this index were associated with higher bee abundance. In fact, we confirm that the total abundance of euglossine bees is negatively influenced by both the distance from the riverbank (Estimate= -4.10; Std.error= 0.39; Z= -10.48; P= <0.0001) and ITA (Estimate= -1.14; Std.error= 0.11; Z= -10.80; P= <0.0001). There is also an interaction effect between distance and ITA, where one variable intensifies the effect of the other (Estimate= 0.53; Std.error= 0.06; Z= 9.25; P= <0.0001) (Fig. 3 and Fig. 4). It is important to note that the interaction effect is cooled at greater distances from the river with low ITA values (Fig. 4 B, C), suggesting that the closer to the riverbank the greater the impact of degradation on bee abundance. The same pattern was found in terms of bee richness. In this regard, we confirm that euglossine bees are also negatively affected in their richness by the distance from the river (Estimate= -1.36; Std.error= 0.53; Z= -2.57; P= 0.0103), ITA (Estimate= -0.31; Std.error= 0.15; Z= -2.09; P= 0.0368), and the interaction effect between these variables (Estimate= 0.15; Std.error= 0.07; Z= 2.05; P= 0.0408).

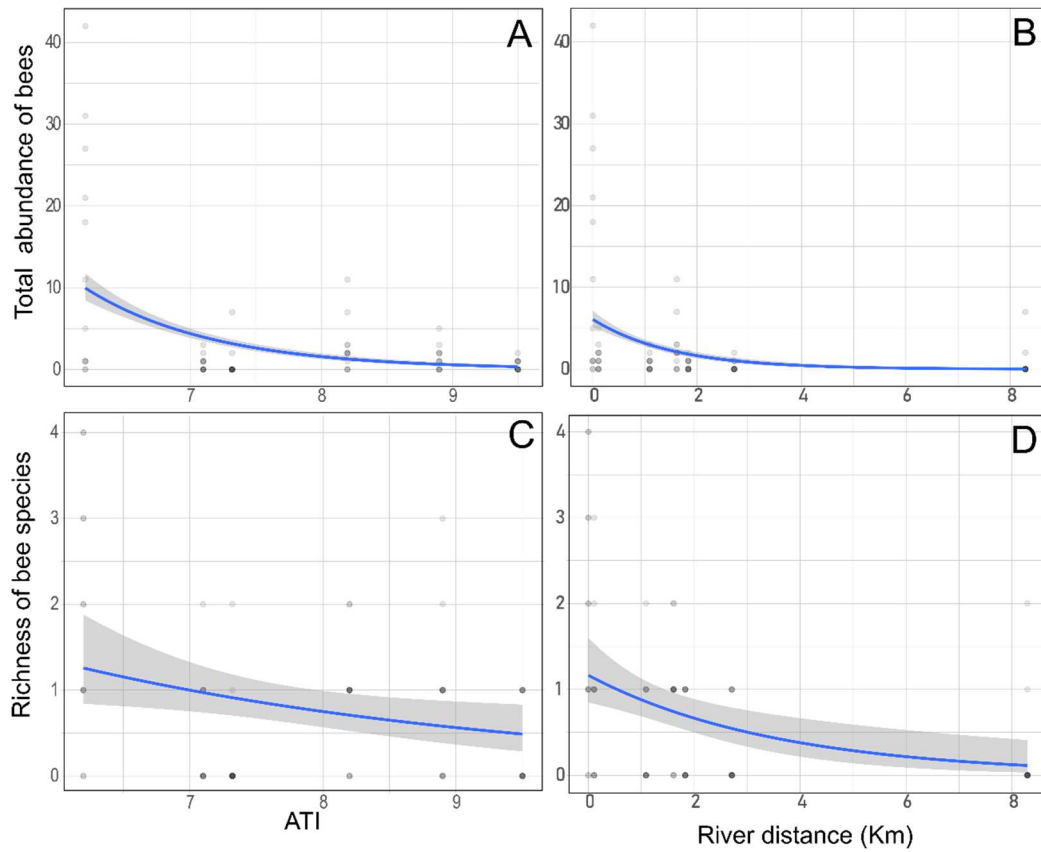


Figure 3 - Scatter plot showing the effects of Anthropogenic Transformation Index (ATI) and Distance from the São Francisco River on (A, B) Total Abundance and (C, D) Species Richness of bees. (Blue lines indicate regression trend lines for the fitted models, and gray areas represent 95% confidence intervals; outliers corresponding to BAT locality have been removed from Figures A and C for better visualization of the trend line).

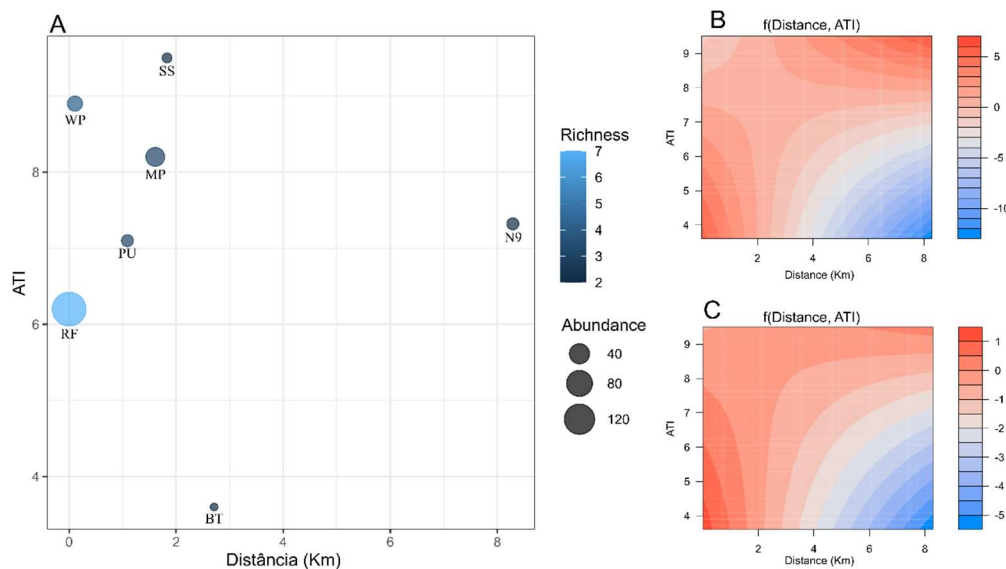


Figure 4 – (A) Scatter plot depicting the variation in bee abundance and richness as a function of ATI and distance from the São Francisco River. (Details regarding the abbreviations of sampled locations can be found in Table 1 and Figure 1). (B-C) Heatmap illustrating the interaction between the explanatory variables, riverbank distance, and ATI, on Euglossini bee richness (B) and abundance (C).

A more detailed analysis, considering the abundances of the only species present in all areas and the most abundant in this study, supported the same pattern. The abundance of *Euglossa cordata* is negatively influenced by the distance from the riverbank (Estimate= -4.05; Std.error= 0.50; Z= -8.07; P= <0.0001) and ITA (Estimate= -1.04; Std.error= 0.12; Z= -8.47; P= <0.0001), with an interaction between these variables (Estimate= 0.53; Std.error= 0.07; Z= 7.44; P= <0.0001). Similarly, *Eulaema nigrita* was also negatively influenced by the distance from the riverbank (Estimate= -4.53; Std.error= 1.02; Z= -4.44; P= <0.0001) and ITA (Estimate= -1.57; Std.error= 0.36; Z= -4.39; P= <0.0001), showing also an interaction effect between distance and ITA (Estimate= 0.55; Std.error= 0.17; Z= 3.20; P= 0.0014).

Table 4 - Species list and community parameters of sampling areas for Euglossini bees in the city of Petrolina, Pernambuco, Northeast Brazil.

Bee species	Individual	Individuals in each area						
	s	BT	RF	MP	SS	WF	N9	PU
<i>Eulaema nigrita</i> Lepeletier, 1841	65	3	55	1	1	3	1	1
<i>Euglossa cordata</i> Linnaeus, 1758	150	2	87	31	5	10	8	7
<i>Euglossa despecta</i> Moure, 1968	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Euglossa melanotricha</i> Moure, 1967	8	0	7	1	0	0	0	0
<i>Euglossa stellfeldi</i> Moure, 1947	3	0	3	0	0	0	0	0
<i>Euglossa truncata</i> Rebelo & Moure, 1996	2	0	0	0	0	2	0	0
<i>Euglossa</i> sp. 1	5	0	2	0	0	2	0	1
<i>Euglossa</i> sp. 2	3	0	3	0	0	0	0	0
Total abundance	237	5	158	33	6	17	9	9
Richness	-	2	7	3	2	4	2	3
Diversity index (Shannon-Wiener)	-	0.67	1.07	0.27	0.45	1.12	0.35	0.68

4.4 Discussion

The findings of the present study provide an in-depth exploration of the diverse land use patterns and the range of disturbance levels observed within the city of Petrolina. These patterns are observed across different distances from the river. In this urban context, we identified eight species belonging to two genera of euglossine bees, which is a notably high number considering the arid Caatinga dry forest. As expected, our results reveal that proximity to the river and the level of disturbance significantly impact the euglossine bee community. Similarly, anthropogenic disturbance also exhibits a negative effect on the bee community. However, and perhaps the most alarming aspect of our findings, is the interaction effect between these two conditions, demonstrating that the distance from the riverbank determines how anthropogenic disturbance affect the euglossine bee community. As we approach the river, parameters such as abundance, species richness, and diversity of these bees become more compromised by disturbance. This effect holds true even for species that seemingly respond well to disturbance, such as *Euglossa carolina* and *Eulaema nigrita*. Below, we discuss the identified patterns and highlight their potential implications for the conservation of this distinct group of pollinating insects.

The euglossine community in the Caatinga concentrates in riparian forests

As discussed earlier in this paper, euglossine bees are known for their specific preferences for habitats and floral resources, and their occurrence can be influenced by a range of environmental factors. In the context of the Caatinga, the presence of euglossine bees has been observed to be concentrated in riparian forest areas, as confirmed here. However, this is not an isolated process. Studies conducted by (Brito et al., 2017) in the Amazon rainforest identified indicator bees for primary forests, revealing that the composition of euglossine bee assemblages also varies according to vegetation cover. These findings indicate the crucial role of riparian forests and forest reserves in sustaining euglossine bees, even in landscapes affected by the presence of oil palm plantations in the Amazon region. This observation is further supported by the study conducted by (Faria and Silveira, 2011) in the Cerrado, where riparian forests play a crucial role as corridors for forest-associated euglossine bees. In all these contexts, riparian forests provide a connection between forested areas,

allowing bees to move between these fragments and ensuring the dispersal and viability of their populations.

One of the reasons suggested to explain the abundance of euglossine bees in riparian forests is the year-round availability of floral resources. Studies have demonstrated that riparian vegetation harbours a rich diversity of flowering plants, ensuring a continuous and varied food source for these bees (Montoya-Pfeiffer et al., 2020; Moura and Schlindwein, 2009). Moreover, riparian forests provide suitable conditions for nesting, as demonstrated for both solitary and social bees (Brito et al., 2017; Moura and Schlindwein, 2009). Another plausible explanation for the concentration of euglossine bees in riparian areas is related to the favourable environmental conditions found in these locations. According to (Cândido et al., 2021) and collaborators (2021), the temperature and humidity characteristic of riparian forests can be determining factors for the good development of the nests of these bees. Adequate temperature is essential for the successful reproduction and survival of euglossine offspring, and humidity also plays an important role in their life cycle. Thus, riverbanks, where humidity is usually higher and the temperature is more moderate than surrounding Caatinga areas, might offer better conditions for the nesting of these bees. However, despite these plausible explanations, there is still a lack of data and detailed studies on the diversity and ecology of euglossine bees in riparian forests (Faria and Silveira, 2011; Moura and Schlindwein, 2009). Therefore, further research is still necessary to better understand the occurrence patterns of these bees and the factors influencing their preference for these habitats.

Anthropogenic disturbance in urban areas negatively affects the euglossine community

Our results demonstrate that anthropogenic disturbance resulting from human activities significantly influences the euglossine bee communities in the Caatinga. Habitat destruction is a crucial factor that affects the composition and diversity of these bees, as indicated by the Anthropogenic Transformation Index (ITA) and supported by previous studies (Allen et al., 2019; Nemésio and Silveira, 2006; Rasmussen, 2009). Increased disturbance is associated with a decrease in the abundance and diversity of euglossine bees, highlighting the importance of conserving their natural habitats. Landscape modification in urban areas and agricultural use emerge as significant causes of reduction in the wetter areas of the Caatinga. The continuous growth of

urban areas results in the depletion of natural resources, including nesting sites and food sources such as pollen and nectar (Santos et al., 2019), and this resource limitation strongly impacts the richness and abundance of euglossine bee species (Storck-Tonon et al., 2013; Zanette et al., 2005). The effect of habitat destruction in Caatinga areas is not limited to euglossine bees only but also affects various other groups of pollinators and insects in general, such as flies, butterflies, and ants (Almeida et al., 2011; Barbosa et al., 2021; Melo et al., 2023).

In addition to the reduction in natural resources, anthropogenic disturbance can result in abiotic alterations in the environment. Increased wind incidence, higher temperatures, and reduced shading are some of the new abiotic conditions associated with habitat destruction (Cardoso and Gonçalves, 2018; Storck-Tonon et al., 2013; Zanette et al., 2005). These environmental changes have a substantial impact on bees, particularly on solitary and native species. Consequently, even small or highly disturbed natural areas situated in urban environments can serve as crucial refuges for a variety of euglossine species (Aronson et al., 2017). Interestingly, our study demonstrated that even the dominant euglossine species, i.e. *Eg. cordata* and *El. nigrita*, are also sensitive to anthropogenic disturbances, despite their general ability to persist in disturbed areas (Oliveira et al., 2015; Silva and De Marco, 2014).

The distance from the river determines the effect of disturbance on euglossine bees in urban areas of Caatinga

The proximity to rivers plays a crucial role in determining the impact of anthropogenic disturbance on Euglossini bee populations in urban areas of the Caatinga. This suggests that the riverine environment provides certain advantages and mitigates the detrimental effects of anthropogenic activities. One particular point worthy of mention is that the BT area exhibited low abundances and species richness of bees, despite being the area with the lowest level of disturbance. This exemplifies that the hyper-xerophilous native vegetation of the Caatinga, even in good condition, may not be the most suitable environment for the maintenance of these insects. In contrast, even in the more disturbed areas at some distance from the river, such as the MP or the SS, for example, there are often artificial irrigation systems in place, ensuring the presence of larger cultivated trees. This condition could result in higher humidity in these areas, a significant abiotic factor determining the occurrence of euglossine bees.

One possible explanation for this pattern is the availability of resources. Riverside areas often harbour a greater diversity and abundance of flowering plants, providing a continuous and reliable food source for euglossine bees throughout the year (Montoya-Pfeiffer et al., 2020; Moura and Schlindwein, 2009). Additionally, the proximity to water sources alone ensures higher humidity levels, which are crucial for the survival and reproductive success of these bees (Cândido et al., 2021; Silva and De Marco, 2014). The combination of abundant floral resources and favourable environmental conditions near the river contributes to the resilience of euglossine bee populations in the face of anthropogenic disturbance.

Furthermore, as said before, the riverine landscape often acts as a corridor, facilitating the movement and dispersal of bees between fragmented habitat patches (Brito et al., 2017). This connectivity enables gene flow and maintains population viability, allowing for the persistence of euglossine bee communities in urbanized areas. The riparian vegetation along the riverbanks serves as a refuge and steppingstone habitat, facilitating the movement of bees and providing opportunities for nesting and foraging (Faria and Silveira, 2011).

Euglossine bees highlight the need to protect and monitor riparian areas in the Caatinga cities

Riparian forests in the Brazilian Caatinga play a crucial role in sustaining biodiversity, as exemplified by our findings with euglossine bees. However, their significance extends beyond supporting wildlife. These forests also serve as guardians of water quality, ensuring an adequate water supply for both ecological systems and human communities. Moreover, they contribute to soil stability and regulate water flow, safeguarding the well-being and resilience of local populations (Camporeale et al., 2013; Ellison et al., 2017; Nóbrega et al., 2020). Recognizing the multifaceted benefits of riparian forests emphasizes the urgency of their conservation efforts in the Caatinga region.

The importance of these ecosystems was widely acknowledged by the original Brazilian Forest Code of 1965 (Law N° 4.771/1965), which established protected areas based on the highest water level of the stream, ensuring comprehensive protection of riparian wetlands. Regrettably, the revised Forest Code of 2002 (N° 12. 651/2012) defines the protected area from the stream bed, corresponding to the area occupied

during low-water levels. This definition significantly reduces the extent of riparian zone protection, posing a significant challenge for the conservation of these critical habitats (Campagnolo et al., 2017). For the semi-arid regions in Brazil, such as the Caatinga and Cerrado, this issue becomes even more concerning as the current law fails to account for the significant fluctuations in stream discharge that occur both within and across years (Andrade et al., 2017).

Despite recent changes in the forest code, which have had a significant impact on riverine zones, it is evident that riparian forests have long been confronted with substantial anthropogenic threats, primarily driven by agricultural and urban expansion. The current estimates indicate that the original cover of riparian forests in the semi-arid Caatinga region would have accounted for approximately 3% of the total area. However, it is important to note that most of this original cover has been completely removed or extensively modified (Junk et al., 2022), highlighting the inadequate efforts of Brazilian environmental policy institutions in properly safeguarding these ecosystems (see for example, Oliveira et al., 2018). As a consequence, the ecosystem services provided by these forests are severely compromised.

Euglossine bees provide key ecosystem services in neotropical regions, pollinating not only native plant populations (Dressler, 1982; Roubik and Hanson, 2004), but also agricultural crops (Darrault and Schlindwein, 2005). In our study, we found a drastic decline in euglossine bee populations - and thus of their pollination service effectiveness - in areas where the riparian vegetation has been completely removed. The negative effect of disturbance on riparian vegetation may be observed in other pollinating insects, including meliponini bees (Vossler, 2019), wasps (Souza et al., 2010), flies (Ober and Hayes, 2008), nocturnal moths (Ober and Hayes, 2008), butterflies (Cabette et al., 2017), as well as insect groups that contribute to other important ecosystem services, such as pest control (e.g. hymenopteran parasitoids; G. S. Silva et al., 2020). Therefore, the decline in insect populations resulting from the disturbance/removal of riparian vegetation poses a serious threat to the ecosystem services they provide. This is particularly concerning for the city of Petrolina, where fruticulture and other agricultural crops represent one of the primary economic activities (Prefeitura de Petrolina, 2022).

The removal of the riparian forests also resulted in a reduction of 50% of the euglossine bee richness. In our study, *Euglossa cordata* and *Eulaema nigrita* dominated the euglossine bee community and were reported in all sampling areas. However, other species, such as *Euglossa despecta* and *Eg. stellfeldii*, were exceptionally rare and confined to the river margin where a native riparian vegetation still persists. This emphasizes the critical role of riparian forests as refuge areas for these species within urban and agricultural landscapes and indicate that their removal could trigger a cascade of local extinctions. Similar cases of local extinction in euglossine bees due to intense human disruption of habitats have been documented in the Atlantic and Amazonian Rainforests (Nemésio, 2011; Storck-Tonon and Peres, 2017) and the risk of such extinction might be more accentuated in semi-arid regions, where euglossine populations are much smaller. Overall, our study shows the urgent need to implement effective conservation strategies and sustainable management practices to protect and restore riparian forests in the Caatinga region, aiming to ensure the preservation of its biota and the valuable ecosystem services they provide.

Acknowledgments

We thank Prof. Airton T. Carvalho and Hiram M. Falcão for helpful comments on an earlier version of the manuscript and Eudair R. Telles for support with field activities.

Funding

This work was supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Universal Proc.n. 422647/2021-7). Grants were provided by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/PQ Proc.n. 313948/2021-6 and DCR Proc.n 0031-2.03/21) and by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES Brazil - Finance code 001).

4.5 References

Ackerman, J.D., 1985. Euglossine and their nectar hosts, in: D'arcy, W.G., Correa, M.D. (Eds.), The Botany and Natural History of Panama. Missouri Botanical Gardens, St. Louis, 455p, pp. 225–233.

- Allen, L., Reeve, R., Nousek-McGregor, A., Villacampa, J., MacLeod, R., 2019. Are orchid bees useful indicators of the impacts of human disturbance? *Ecol Indic* 103, 745–755. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.046>
- Almeida, A.L.S., Albuquerque, U.P., Castro, C.C., 2011. Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil. *J Arid Environ* 75, 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.11.003>
- Andrade, E., Aquino, D., Chaves, L.C., Lopes, F., 2017. Water as capital and its uses in the Caatinga, in: *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America*. pp. 281–302. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_10
- Armbruster, W.S., 1996. Cladistic analysis and revision of *Dalechampia* Sections *Rhopalostylis* and *Brevicolumnae* (Euphorbiaceae). *Syst Biol* 21, 209–235.
- Armbruster, W.S., McCormick, K.D., 1990. Diel foraging patterns of male euglossine bees: Ecological causes and evolutionary responses by plants. *Biotropica* 22, 160–171. <https://doi.org/10.2307/2388409>
- Aronson, M.F.J., Lepczyk, C.A., Evans, K.L., Goddard, M.A., Lerman, S.B., MacIvor, J.S., Nilon, C.H., Vargo, T., 2017. Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Front Ecol Environ*. <https://doi.org/10.1002/fee.1480>
- Banaszak-Cibicka, W., Żmihorski, M., 2012. Wild bees along an urban gradient: Winners and losers. *J Insect Conserv* 16, 331–343. <https://doi.org/10.1007/s10841-011-9419-2>
- Barbosa, T.M., Carmo, R.F.R., Mello-Patiu, C.A., Leal, I.R., Vasconcelos, S.D., 2021. Effects of chronic anthropogenic disturbances on flesh fly (Diptera, Sarcophagidae) assemblages in areas of seasonally dry tropical forest. *J Insect Conserv* 25, 485–498. <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00317-8>
- Baskin, Y., 1998. Winners and Losers in a Changing World. *Bioscience* 48, 788–792. <https://doi.org/10.2307/1313390>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J Stat Softw* 67, 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Becker, P., Moure, J.S., Peralta, F.J.A., 1991. More about euglossine bees in Amazonian forest fragment. *Biotropica* 23, 586–591.
- Benjamin, F.E., Reilly, J.R., Winfree, R., 2014. Pollinator body size mediates the scale at which land use drives crop pollination services. *Journal of Applied Ecology* 51, 440–449. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12198>

- Bezerra, E.L.S., Machado, I.C., 2003. Biologia floral e sistema de polinização de *Solanum stramonifolium* Jacq. (Solanaceae) em remanescente de Mata Atlântica, Pernambuco. *Acta Bot Brasilica* 17, 247–257.
- Bracken, M.E.S., Low, N.H.N., 2012. Realistic losses of rare species disproportionately impact higher trophic levels. *Ecol Lett* 15, 461–467. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01758.x>
- Brito, T.F., Phifer, C.C., Knowlton, J.L., Fiser, C.M., Becker, N.M., C. Barros, F., Contrera, F.A.L., Maués, M.M., Juen, L., Montag, L.F.A., Webster, C.R., Flaspohler, D.J., Santos, M.P.D., Silva, D.P., 2017. Forest reserves and riparian corridors help maintain orchid bee (Hymenoptera: Euglossini) communities in oil palm plantations in Brazil. *Apidologie* 48, 575–587. <https://doi.org/10.1007/s13592-017-0500-z>
- Cabette, H.S.R., Souza, J.R., Shimano, Y., Juen, L., 2017. Effects of changes in the riparian forest on the butterfly community (Insecta: Lepidoptera) in Cerrado areas. *Rev Bras Entomol* 61, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.10.004>
- Campagnolo, K., da Silveira, G.L., Miola, A.C., da Silva, R.L.L., 2017. Área De Preservação Permanente De Um Rio E Análise Da Legislação De Proteção Da Vegetação Nativa. *Ciencia Florestal* 27, 831–842. <https://doi.org/10.5902/1980509828633>
- Camporeale, C., Perucca, E., Ridolfi, L., Gurnell, A.M., 2013. Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. *Reviews of Geophysics* 51, 379–414. <https://doi.org/10.1002/rog.20014>
- Cândido, M.E.M.B., Miranda, P.N., Morato, E.F., 2021. Orchid bees in riparian and terra-firme forest fragments in an urban matrix in southwestern Brazilian amazonia. *Acta Amazon* 51, 214–223. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003781>
- Cardoso, M.C., Gonçalves, R.B., 2018. Reduction by half: the impact on bees of 34 years of urbanization. *Urban Ecosyst* 21, 943–949. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0773-7>
- Cruz, Z.Q., Ribeiro, ; G P, Quaresma, Z., Cruz, D.A., Ribeiro, G.P., 2008. Ensaios de segmentação e classificação digital de imagens cbers utilizando o sistema spring em uma unidade de conservação ambiental estudo de caso: Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), in: *II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias Da Geoinformação*. pp. 1–9.
- Darrault, R.O., Medeiros, P., Locatelli, E., Lopes, A. V, Machado, I.C., Schlindwein, C., 2006. Abelhas Euglossini, in: Pôrto, K.C., Almeida-Cortez, J.S., Tabarelli, M. (Eds.),

- Diversidade Biológica e Conservação Da Floresta Atlântica Ao Norte Do Rio São Francisco. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 363.
- Darrault, R.O., Schlindwein, C., 2005. Limited Fruit Production in *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and Pollination by Nocturnal and Diurnal Insects. *Biotropica* 37, 381–388. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00050.x>
- de Almeida, A.S., Lameira, W.J. de M., Pereira, J.G., Thalês, M.C., Sales, G.M., 2022. Potential of anthropic pressure in the Northeast Paraense region, Brazil. *Ciencia Florestal* 32, 1–18. <https://doi.org/10.5902/1980509834844>
- de Oliveira, C.D.C., Borges, L.A.C., Júnior, F.W.A., 2018. Land use in permanent preservation areas of grande river (MG). *Floresta e Ambiente* 25. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.023015>
- Dodson, C.H., 1966. Ethology of some bees of the tribe Euglossini (Hymenoptera: Apidae). *J Kans Entomol Soc* 39, 607–629.
- Dressler, R.L., 1982. Biology of the orchid bees (Euglossini). *Annu Rev Ecol Syst* 13, 373–394. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.002105>
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M. van, Creed, I.F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A.B., Ilstedt, U., Teuling, A.J., Gebrehiwot, S.G., Sands, D.C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C.A., 2017. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change* 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Eltz, T., Roubik, D.W., Lunau, K., 2005. Experience-dependent choices ensure species-specific fragrance accumulation in male orchid bees. *Behav Ecol Sociobiol* 59, 149–156.
- Faria, L.R.R., Silveira, F.A. da, 2011. The orchid bee fauna (Hymenoptera, Apidae) of a core area of the Cerrado, Brazil: the role of riparian forests as corridors for forest-associated bees. *Biota Neotrop* 11, 87–94. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000400009>
- Goulson, D., O'connor, S., Park, K.J., 2018. The impacts of predators and parasites on wild bumblebee colonies. *Ecol Entomol* 43, 168–181. <https://doi.org/10.1111/een.12482>
- Gouveia, R.G.L. de, Galvanin, E.A. dos S., Neves, S.M.A. da S., 2013. Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da bacia do córrego do Bezerra

- Vermelho em Tangará da Serra-MT. *Revista Árvore* 37, 1045–1054. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600006>
- Grandolfo, V.A., Bozza Junior, R.C., Silva Neto, C. de M. e, Mesquita Neto, J.N., Gonçalves, B.B., 2013. Riqueza e Abundância de Abelhas Euglossini (Hymenoptera, Apidae) em Parques Urbanos de Goiânia, Goiáse) em parques urbanos de Goiânia, Goiás. *EntomoBrasilis* 6, 126–131. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v6i2.296>
- Hautier, Y., Tilman, D., Isbell, F., Seabloom, E.W., Borer, E.T., Reich, P.B., 2015. Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. *Science* (1979) 348, 336–340. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1788>
- Heriberto, A., Teixeira, C., 2010. Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro - 1963 a 2009, in: Documentos 233 Online. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, pp. 1–23.
- Prefeitura de Petrolina, 2022. <https://petrolina.pe.leg.br/historia-do-municipio/> [WWW Document]. Accessed in 05/06/2023.
- Hooper, D.U., Adair, E.C., Cardinale, B.J., Byrnes, J.E.K., Hungate, B.A., Matulich, K.L., Gonzalez, A., Duffy, J.E., Gamfeldt, L., Connor, M.I., 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* 486, 105–108. <https://doi.org/10.1038/nature11118>
- Jatobá, L., Florentino Silva, A., Domiciano Galvêncio, J., 2017. A dinâmica climática do semiárido em Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 136–149.
- Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Schöngart, J., da Cunha, C.N., Goncalves, S.R.A., Wantzen, K.M., Wittmann, F., 2022. Riparian wetlands of low-order streams in Brazil: extent, hydrology, vegetation cover, interactions with streams and uplands, and threats. *Hydrobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05056-8>
- Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A.L., Cariveau, D., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Cunningham, S.A., Danforth, B.N., Dudenhöffer, J.H., Elle, E., Gaines, H.R., Garibaldi, L.A., Gratton, C., Holzschuh, A., Isaacs, R., Javorek, S.K., Jha, S., Klein, A.M., Kremen, K., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Morandin, L., Neame, L.A., Otieno, M., Park, M., Potts, S.G., Rundlöf, M., Saez, A., Steffan-Dewenter, I., Taki, H., Viana, B.F., Westphal, C., Wilson, J.K., Greenleaf, S.S., Kremen, C., 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecol Lett* 16, 584–599. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>

- Kerr, J.T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S.G., Roberts, S.M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S.R., Richardson, L.L., Wagner, D.L., Gall, L.F., Sikes, D.S., Pantoja, A., 2015. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* (1979) 349, 177–180. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>
- Lôbo, D., Leão, T., Melo, F.P.L., Santos, A.M.M., Tabarelli, M., 2011. Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. *Divers Distrib* 17, 287–296. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00739.x>
- Lopes, A. V, Machado, I.C., 1998. Floral biology and reproductive ecology of *Clusia nemorosa* (Clusiaceae) in northeastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution* 213, 71–90. <https://doi.org/10.1007/bf00988909>
- Lopes, A. V, Machado, I.C., Aguiar, A. V, Rebêlo, J.M.M., 2007. A scientific note on the occurrence of Euglossini bees in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. *Apidologie* 38, 472–473.
- Martins, C., Moura, A.C.A., Barbosa, M.R. V, 2003. Bee plants and relative abundance abundance of corbiculate Apidae species in a Brazilian Caatinga area. *Revista Nordestina de Biologia* 17, 63–74.
- Mattison, E.H.A., Norris, K., 2005. Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and biodiversity. *Trends Ecol Evol*. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.011>
- McKinney, M.L., 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biol Conserv* 127, 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- McKinney, M.L., Lockwood, J.L., 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends Ecol Evol* 14, 450–453. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01679-1](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01679-1)
- Melo, D.H.A., Freitas, A.V.L., Tabarelli, M., Filgueiras, B.K.C., Leal, I.R., 2023. Aridity and chronic anthropogenic disturbance as organizing forces of fruit-feeding butterfly assemblages in a Caatinga dry forest. *Biotropica* 55, 173–184. <https://doi.org/10.1111/btp.13173>
- Michener, C.D., 2007. *The bees of the world*, Second. ed. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- Milet-Pinheiro, P., Schlindwein, C., 2005. Do euglossine males (Apidae, Euglossini) leave tropical rainforest to collect fragrances in sugarcane monocultures? *Rev Bras Zool* 22, 853–858. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000400008>

- Montoya-Pfeiffer, P.M., Rodrigues, R.R., Alves dos Santos, I., 2020. Bee pollinator functional responses and functional effects in restored tropical forests. *Ecological Applications* 30, e02054. <https://doi.org/10.1002/eap.2054>
- Morris, D.W., Heidinga, L., 1997. Balancing the Books on Biodiversity. *Conservation Biology* 11, 287–289.
- Moura, D.C., Schlindwein, C., 2009. Mata ciliar do Rio São Francisco como biocorredor para Euglossini (Hymenoptera: Apidae) de florestas tropicais úmidas. *Neotrop Entomol* 38, 281–284.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858.
- Nemésio, A., 2011. *Euglossa marianae* sp. n. (Hymenoptera: Apidae): a new orchid bee from the Brazilian Atlantic Forest and the possible first documented local extinction of a forest-dependent orchid bee. *Zootaxa* 2892, 59–68.
- Nemésio, A., 2009. Orchid bees (Hymenoptera: Apidae) of the Brazilian Atlantic Forest. *Zootaxa* 2041, 1242.
- Nemésio, A., Silveira, F.A., 2007. Diversity and distribution of orchid bees (Hymenoptera : Apidae) with a revised checklist of species. *Neotrop Entomol* 36, 874–888.
- Nemésio, A., Silveira, F.A., 2006. Edge Effects on the Orchid-Bee Fauna (Hymenoptera: Apidae) at a Large Remnant of Atlantic Rain Forest in Southeastern Brazil. *Neotrop Entomol* 486, 313–323.
- Nóbrega, R.L.B., Ziembowicz, T., Torres, G.N., Guzha, A.C., Amorim, R.S.S., Cardoso, D., Johnson, M.S., Santos, T.G., Couto, E., Gerold, G., 2020. Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon–Cerrado agricultural frontier. *Glob Ecol Conserv* 21, e00819. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00819>
- Nogueira, C., Bernadete, C., Cruz, M., Vieira Agarez, F., Sánchez Vicens, R., 2001. Classificação de Bacias Hidrográficas em Tabuleiros Costeiros através de Indicadores provenientes de Sensoriamento Remoto-estudo de caso em Linhares e Sooretama, ES, in: *Anais Do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. pp. 955–958.
- Ober, H.K., Hayes, J.P., 2008. Influence of forest riparian vegetation on abundance and biomass of nocturnal flying insects. *For Ecol Manage* 256, 1124–1132. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.010>

- Oliveira, M.L., Morato, E.F., Garcia, M.V.B., 1995. Diversidade de espécies e densidade de ninhos de abelhas sociais sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) em floresta de terra firme na Amazônia Central. *Rev Bras Zool* 12, 13–24.
- Oliveira, R., Pinto, C.E., Schlindwein, C., 2015. Two common species dominate the species-rich Euglossine bee fauna of an Atlantic Rainforest remnant in Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 75, 1–8. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.18513>
- Pennington, R.T., Lavin, M., Oliveira-Filho, A., 2009. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: Perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 40, 437–457. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>
- Peruquetti, R.C., Campos, L.A.O., Coelho, C.D.P., Abrantes, C.V.M., Lisboa, L.C.O., 1999. Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. *Rev Bras Zool* 16, 101–118.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol Evol* 25, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L. V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A.J., 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Powell, A.H., Powell, G.V.N., 1987. Population dynamics of male euglossine bees in Amazonian forest fragment. *Biotropica* 19, 176–179.
- Ramírez, S.R., Dressler, R.L., Ospina, M., 2002. Abejas euglosinas (Hymenoptera: Apidae) de la Región Neotropical: Listado de especies con notas sobre su biología. *Biota Colomb* 3, 7–118.
- Rasmussen, C., 2009. Diversity and abundance of orchid bees (Hymenoptera: Apidae, Euglossini) in a tropical rainforest succession 38, 66–73.
- RCoreTeam, 2023. R: A language and environment for statistical computing [WWW Document]. URL <http://www.r-project.org/> (accessed 6.4.23).
- Rebêlo, J.M.M., 2001. História natural das euglossíneas – as abelhas das orquídeas. Lithograf Editora, São Luís.
- Rebêlo, J.M.M., Garófalo, C.A., 1997. Comunidades de Machos de Euglossini (Hymenoptera: Apidae) em Matas Semidecíduas do Nordeste do Estado de São Paulo. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 26, 243–255.

- Ribeiro, M.F., Taura, T.A., 2019. Presence of plebeia aff. *Flavocincta* Nests in Urban Areas. *Sociobiology* 66, 66–74. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i1.3474>
- Rocha P. D., S., Bernadete, C., Cruz, M., 2009. Aplicação do ITA na análise espaço-temporal do entorno da BR-101 nos municípios de Angra dos Reis e Parati, in: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Natal, pp. 1505–1512.
- Rodrigues, G., Neto e Silva, M., Sousa, A., Furtado, F., Oliveira Junior, J., 2018. Estudos com Euglossine (Hymenoptera: Apidae) no Brasil: uma análise cienciométrica das últimas cinco décadas. *Enciclopédia Biosfera* 15, 249–263. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A90
- Roubik, D.W., Hanson, P.E., 2004. Orchid bees: biology and field guide. INBIO, San Jose.
- Roulston, T.H., Goodell, K., 2011. The role of resources and risks in regulating wild bee populations. *Annu Rev Entomol* 56, 293–312. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144802>
- Santos, M.N., Delabie, J.H.C., Queiroz, J.M., 2019. Biodiversity conservation in urban parks: a study of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in Rio de Janeiro City. *Urban Ecosyst* 22, 927–942. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00872-8>
- Silva, D.A.O., Montenegro, S.M.G.L., Lopes, P.M.O., Silva, J.L.B., Santos, J.E.B., Silva, E.M., Cruz Correio, A.F.S., Santos, W.M., Chinchilla, S.R.A., Silva, R.B., Nascimento, C., 2020. Monitoring of degradation in the Caatinga biome in the semi-arid northeastern region, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 2293–2303.
- Silva, D.P., De Marco, P., 2014. No evidence of habitat loss affecting the orchid Bees *Eulaema nigrita* Lepeletier and *Eufriesea auriceps* friese (Apidae: Euglossini) in the Brazilian Cerrado Savanna. *Neotrop Entomol* 43, 509–518. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0244-7>
- Silva, G.S., Jahnke, S.M., Johnson, N.F., 2020. Riparian forest fragments in rice fields under different management: Differences on hymenopteran parasitoids diversity. *Brazilian Journal of Biology* 80, 122–132. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.194760>
- Silva-Araújo, M., Silva-Junior, E.F., Neres-Lima, V., Feijó-Lima, R., Tromboni, F., Lourenço-Amorim, C., Thomas, S.A., Moulton, T.P., Zandonà, E., 2020. Effects of riparian deforestation on benthic invertebrate community and leaf processing in Atlantic forest streams. *Perspect Ecol Conserv* 18, 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.09.004>

- Silveira, F.A., Melo, G.A.R., Almeida, E.A.B., 2002. Abelhas brasileiras: sistemática e identificação, 1ª Ed. ed. Fernando A. Silveira, Belo Horizonte.
- Singh, S.P., 1998. Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. *Environ Conserv* 25, 1–2. <https://doi.org/10.1017/S0376892998000010>
- Souza, A.K.P. de, Hernández, M.I.M., Martins, C.F., 2005. Riqueza, abundância e diversidade de Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em três áreas da Reserva Biológica Guaribas, Paraíba, Brasil. *Rev Bras Zool* 22, 320–325. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752005000200004>
- Souza, M.M., Louzada, J., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2010. Social wasps (Hymenoptera: Vespidae) as indicators of conservation degree of riparian forests in southeast Brazil. *Sociobiology* 56, 387–396.
- Specht, M.J., Pinto, S.R.R., Albuquerque, U.P., Tabarelli, M., Melo, F.P.L., 2015. Burning biodiversity: Fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes. *Glob Ecol Conserv* 3, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.002>
- Storck-Tonon, D., Morato, E.F., Melo, A.W.F. de, Oliveira, M.L. de, 2013. Orchid Bees of forest fragments in Southwestern Amazonia. *Biota Neotrop* 13, 133–141. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100015>
- Storck-Tonon, D., Peres, C.A., 2017. Forest patch isolation drives local extinctions of Amazonian orchid bees in a 26 years old archipelago. *Biol Conserv* 214, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.07.018>
- Tabarelli, M., Peres, C.A., Melo, F.P.L., 2012. The “few winners and many losers” paradigm revisited: Emerging prospects for tropical forest biodiversity. *Biol Conserv.* <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.020>
- Teixeira, L.R., Gustavo, ;, Nunes, M., Finger, Z., Auberto, ;, Siqueira, J.B., 2015. Potencialidades da Classificação Orientada a Objetos em Imagens SPOT5 no Mapeamento de Fitofisionomias do Cerrado Potencialidades da Classificação Orientada a Objetos em Imagens SPOT5 no Mapeamento de Fitofisionomias do Cerrado Potential Rating Oriented Object on SPOT 5 Images in the Cerrado's Biome. *Revista Espacios* 36, 1–12.
- Tonhasca, A., Blackmer, J.L., Albuquerque, G.S., 2002. Within-habitat heterogeneity of euglossine bee populations: a re-evaluation of the evidence. *J Trop Ecol* 18, 929–933.

- Vossler, F.G., 2019. Native and ornamental exotic resources in pollen loads and garbage pellets of four stingless bees (Apidae, Meliponini) in an urban environment with riparian native forest. *An Acad Bras Cienc* 91, 1–13. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190360>
- Weber, M.G., Mitko, L., Eltz, T., Ramírez, S.R., 2016. Macroevolution of perfume signalling in orchid bees. *Ecol Lett* 19, 1314–1323. <https://doi.org/10.1111/ele.12667>
- Winfree, R., Bartomeus, I., Cariveau, D.P., 2011. Native pollinators in anthropogenic habitats. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 42. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145042>
- Zanella, F.C. V, 2000. The bees of the caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): a species list and comparative notes regarding their distribution. *Apidologie* 31, 579-592.
- Zanette, L.R.S., Martins, R.P., Ribeiro, S.P., 2005. Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis. *Landsc Urban Plan* 71, 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.02.003>
- Zhang, X., Chan, N.W., Pan, B., Ge, X., Yang, H., 2021. Mapping flood by the object-based method using backscattering coefficient and interference coherence of Sentinel-1 time series. *Science of the Total Environment* 794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148388>
- Zimmermann, Y., Roubik, D.W., Quezada-Euan, J.J.G., Paxton, R.J., Eltz, T., 2009. Single mating in orchid bees (Euglossa, Apinae): Implications for mate choice and social evolution. *Insectes Soc* 56, 241–249.

5 IMPACTOS ESPERADOS DA PESQUISA NA SOCIEDADE

Segundo Rodrigues *et al.* (2018) as abelhas Euglossini são consideradas apropriadas nos estudos relacionados às consequências diretas e indiretas das fragmentações das florestas. Estudos recentes demonstraram que a capacidade de dispersão dessas abelhas utilizando a matriz que circunda os fragmentos florestais é um dos principais fatores determinantes para a persistência de algumas das espécies em áreas fragmentadas.

Além disso, as Euglossini são de grande importância para os ecossistemas brasileiros e têm sido utilizadas como bioindicadores de qualidade do ambiente (Rodrigues *et al.* 2018). Daí a relevância e necessidade de estudos que visem a determinação de espécies que ocorrem fora de florestas úmidas. Bem como conservação das florestas nas beiras dos rios. Elas comportam uma abundância e riqueza de abelhas elevada, que prestam serviço ambiental imprescindível.

Esse trabalho, portanto, abordou um tema pertinente que contribuirá para o conhecimento da diversidade e composição das comunidades dessas abelhas. Com um alcance local e regional, amostragens dessas abelhas foram realizadas em diferentes áreas localizadas no município Petrolina (PE). Foram obtidas amostras em áreas com diferentes tipos de uso, como áreas de reserva, mata ciliar, áreas urbanas, etc. O atual estudo poderia se estender para cidades vizinhas para ampliar o conhecimento obtido.

Os resultados desta investigação serão compartilhados com a comunidade científica através da publicação de um artigo científico, da participação em eventos científicos e da divulgação na UPE, a partir de iniciativas junto ao colegiado de Biologia, por exemplo. Por fim, pretende-se elaborar uma cartilha sobre as abelhas Euglossini do vale do São Francisco, com divulgação no batalhão (72º. BI), junto às escolas e/ou grupos de visitas.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Esse estudo aborda um tema relevante e contribui para o conhecimento da diversidade e composição das comunidades de abelhas Euglossini em áreas do Semiárido brasileiro. Mais precisamente em áreas que refletem um cenário de uso antrópico da Caatinga: reserva de Caatinga típica, fragmento de mata ciliar bastante antropizado, parques e praças urbanos e área de fruticultura de manga. As áreas de Caatinga hiperxerófila apresentaram uma composição de Euglossini parecida, já abundância e riqueza foram baixas nessas áreas e as áreas de matas ciliares apresentam uma melhor diversidade, abundância e riqueza de Euglossini no município de Petrolina-PE.

Outro aspecto importante é a conscientização da população humana sobre a necessidade da preservação das áreas de matas ciliares, ao redor dos rios, para a permanência dessas abelhas nessas áreas, colaborando com estratégias para a conservação de abelhas Euglossini no bioma Caatinga. As espécies que foram identificadas e catalogadas, podem se tornar conhecidas do público por meio de uma cartilha sobre as abelhas Euglossini do vale do São Francisco.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, J. D. **Euglossine bees and their nectar hosts**. In: D'Arcy WG, Correa M.D.A. (eds.). *The botany and natural history of Panama*. p. 225-233, 1985.
- ALLEN, L.; REEVE, R.; NOUSEK-MCGREGOR, A.; VILLACAMPA, J.; MACLEOD, R. **Are orchid bees useful indicators of the impacts of human disturbance?** *Ecological Indicators*, v. 103, p. 745-755, 2019.
- ALMEIDA, A. L. S.; ALBUQUERQUE, U. P.; CASTRO, C. C. **Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil**. *J Arid Environ* 75, p. 330–337, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.11.003>
- ANDRADE, E.; AQUINO, D.; CHAVES, L. C.; LOPES, F. **Water as capital and its uses in the Caatinga, in: Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. p. 281–302, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_10
- ANDRADE-SILVA, A. C. R.; NEMÉSIO, A.; OLIVEIRA, F. F.; NASCIMENTO, F. S. **Spatial–Temporal Variation in Orchid Bee Communities (Hymenoptera: Apidae) in Remnants of Arboreal Caatinga in the Chapada Diamantina Region, State of Bahia, Brazil**. *Neotropical Entomology*, v. 41, p. 296-305, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13744-012-0053-9>
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Desenvolvimento sustentável da caatinga**. Sobral (CE): Ministério da Agricultura/ EMBRAPA/CNPC, p. 45, 1996.
- ARONSON, M. F. J.; LEPCZYK, C. A.; EVANS, K. L.; GODDARD, M. A.; LERMAN, S. B.; MACIVOR, J. S.; NILON, C. H.; VARGO, T. **Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management**. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 15, n.4, p. 189–196, 2017.
- ARMBRUSTER, W. S. **Evolution of floral morphology and function: an integrative approach of adaptation, constraint, and compromise in *Dalechampia* (Euphorbiaceae)**. In: Lloyd DG, Barrett SCH (eds.). *Floral biology: studies on floral evolution in animal-pollinated plants*. Chapman & Hall, New York, p. 241-271, 1996.
- ARMBRUSTER, W. S. **Within-habitat heterogeneity in baiting samples of male euglossine bees: possible causes and implications**. *Biotropica*, p. 122-128, 1993.
- ARMBRUSTER, W. S.; MCCORMICK, K. D. **Diel foraging patterns of male euglossine bees: ecological causes and evolutionary responses by plants**. *Biotropica*, p. 160-171, 1990.
- BANASZAK-CIBICKA, W.; Żmihorski, M. **Wild bees along an urban gradient: winners and losers**. *Journal of Insect Conservation*, v. 16, p. 331-343, 2012.

BARBOSA, T. M.; CARMO, R. F. R.; MELLO-PATIU, C. A.; LEAL, I. R.; VASCONCELOS, S. D. **Effects of chronic anthropogenic disturbances on flesh fly (Diptera, Sarcophagidae) assemblages in areas of seasonally dry tropical forest.** J Insect Conserv 25, p. 485–498, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00317-8>

BASKIN, Y. **Winners and losers in a changing world.** BioScience, v. 48, n. 10, p. 788-792, 1998.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. **Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4.** J Stat Softw 67, p. 1–48, 2015. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

BECKER, P.; MOURE, J. S.; PERALTA, F. J. A. **More about euglossine bees in Amazonian forest fragments.** Biotropica, p. 586-591, 1991.

BEMBÉ, B. **Functional morphology in male euglossine bees and their ability to spray fragrances (Hymenoptera, Apidae, Euglossini).** Apidologie, v. 35, n. 3, p. 283-291, 2004.

BENJAMIN, F. E.; REILLY, J. R.; WINFREE R. (2014). **Pollinator body size mediates the scale at which land use drives crop pollination services.** Journal of Applied Ecology, v. 51, n. 2, p. 440-449, 2014. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12198>

BEZERRA, E. L. S.; MACHADO, I. C. **Biologia floral e sistema de polinização de Solanum stramonifolium Jacq.(Solanaceae) em remanescente de Mata Atlântica, Pernambuco.** Acta Botanica Brasilica, v. 17, p. 247-257, 2003.

BRACKEN, M. E. S.; LOW, N. H. N. **Realistic losses of rare species disproportionately impact higher trophic levels.** Ecology letters, v. 15, n. 5, p. 461-467, 2012.

BRITO, T. F.; PHIFER, C. C.; KNOWLTON, J. L.; FISER, C. M.; BECKER, N. M.; BARROS, F. C. et al. **Forest reserves and riparian corridors help maintain orchid bee (Hymenoptera: Euglossini) communities in oil palm plantations in Brazil.** Apidologie, v. 48, p. 575-587, 2017.

CABETTE, H. S. R.; SOUZA, J. R.; SHIMANO, Y.; JUEN, L. **Effects of changes in the riparian forest on the butterfly community (Insecta: Lepidoptera) in Cerrado areas.** Rev Bras Entomol 61, p. 43–50, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.10.004>

CÂNDIDO, M. E. M. B.; MIRANDA, P. N.; MORATO, E. F. **Orchid bees in riparian and terra-firme forest fragments in an urban matrix in southwestern Brazilian Amazonia.** Acta Amazonica, v. 51, p. 214-223, 2021. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003781>

CÂNDIDO, M. E. M. B.; MORATO, E. F.; STORCK-TONON, D.; MIRANDA, P. N.; VIEIRA, L. J. S. **Effects of fragments and landscape characteristics on the orchid bee richness (Apidae: Euglossini) in an urban matrix, southwestern**

Amazonia. Journal of Insect Conservation, v. 22, p. 475-486, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0075-7>

CAMERON, S. A. **Phylogeny and biology of neotropical orchid bees (Euglossini).** Annual Reviews in Entomology, v. 49, n. 1, p. 377-404, 2004.

CAMPAGNOLO, K.; DA SILVEIRA, G. L.; MIOLA, A. C.; DA SILVA, R. L. L. **Área De Preservação Permanente De Um Rio E Análise Da Legislação De Proteção Da Vegetação Nativa.** Ciencia Florestal 27, p. 831-842, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509828633>

CAMPOREALE, C.; PERUCCA, E.; RIDOLFI, L.; GURNELL, A. M. **Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation.** Reviews of Geophysics 51, p. 379-414, 2013. <https://doi.org/10.1002/rog.20014>

CARDOSO, M. C.; GONÇALVES, R. B. **Reduction by half: the impact on bees of 34 years of urbanization.** Urban ecosystems, v. 21, p. 943-949, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0773-7>

CARVALHO, R.; MACHADO, I. C. **Pollination of *Catasetum macrocarpum* (Orchidaceae) by *Eulaema bombiformis* (Euglossini).** LINDLEYANA-WEST PALM BEACH-, v. 17, n. 2, p. 85-90, 2002.

CARVALHO, A. T.; MAIA, A. C. D.; OJIMA, P. Y.; SANTOS, A. A.; SCHLINDWEIN, C. **Nocturnal bees are attracted by widespread floral scents.** Journal of chemical ecology, v. 38, p. 315-318, 2012.

CCD. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação.** Tradução: Delegação de Portugal. Lisboa (PT): Instituto de Promoção Ambiental, p. 55, 1995.

COIMBRA-FILHO, A. F.; CÂMARA, I. G. **Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil.** Fundação Brasileira para Conservação da Natureza, Rio de Janeiro, 1996.

CORDEIRO, M.; GARRAFFONI, A. R. S.; LOURENÇO, A. P. **Rapid assessment of the orchid bee fauna (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) in the vicinity of an urban Atlantic Forest remnant in São Paulo, Brazil.** Brazilian Journal of Biology, v. 79, p. 149-151, 2019. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.171286>

Cruz, Z. Q.; Ribeiro, G. P.; Quaresma, Z.; Cruz, D. A.; Ribeiro, G. P. **Ensaios de segmentação e classificação digital de imagens CBERS utilizando o sistema Spring em uma unidade de conservação ambiental estudo de caso: Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO).** In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. Anais. p. 1-9, 2008.

DARRAULT, R. O.; SCHLINDWEIN, C. **Limited Fruit Production in *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and Pollination by Nocturnal and Diurnal Insects.** Biotropica 37, p. 381-388, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00050.x>

DARRAULT, R. O.; MEDEIROS, P. C. R.; LOCATELLI, E.; LOPES, A. V.; MACHADO, I. C.; SCHLINDWEIN, C. **Abelhas Euglossini**. In: Pôrto KC, Almeida-Cortez JS, Tabarelli M (eds). *Diversidade biológica e conservação da Floresta Atlântica ao norte do rio São Francisco*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 239–253, 2006.

DE ALMEIDA, A. S.; LAMEIRA, W. J. DE M.; PEREIRA, J. G.; THALÊS, M. C.; SALES, G. M. **Potential of anthropic pressure in the Northeast Paraense region, Brazil**. *Ciencia Florestal* 32, p. 1–18, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509834844>

DE OLIVEIRA, C. D. C.; BORGES, L. A. C.; JÚNIOR, F. W. A. **Land use in permanent preservation areas of grande river (MG)**. *Floresta e Ambiente* 25, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.023015>

DODSON, C. H. **Ethology of some bees of the tribe Euglossini (Hymenoptera: Apidae)**. *Journal of the Kansas Entomological Society*, v. 39, p. 607-629, 1966.

DODSON, C. H.; DRESSLER, R. L.; HILLS, H. G.; ADAMS, R. M.; WILLIAMS, N. H. **Biologically active compounds in orchid fragrances**. *Science*, v. 164, p. 1243–1249, 1969.

DRESSLER, R. L. **Biology of the orchid bees (*Euglossini*)**. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 13, p. 373-394, 1982.

ELLISON, D.; MORRIS, C. E.; LOCATELLI, B.; SHEIL, D.; COHEN, J.; MURDIYARSO, D.; GUTIERREZ, V.; NOORDWIJK, M. VAN, CREED, I. F.; POKORNY, J.; GAVEAU, D.; SPRACKLEN, D. V.; TOBELLA, A. B.; ILSTEDT, U.; TEULING, A. J.; GEBREHIWOT, S. G.; SANDS, D. C.; MUYS, B.; VERBIST, B.; SPRINGGAY, E.; SUGANDI, Y.; SULLIVAN, C. A. **Trees, forests and water: Cool insights for a hot world**. *Global Environmental Change* 43, p. 51–61, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

ELTZ, T.; ROUBIK, D. W.; LUNAU, K. **Experience-dependent choices ensure species-specific fragrance accumulation in male orchid bees**. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 59, p. 149-156, 2005.

FARIA, L. R. R.; SILVEIRA, F. A. **The orchid bee fauna (Hymenoptera, Apidae) of a core area of the Cerrado, Brazil: The role of riparian orests as corridors for forest-associated bees**. *Biota Neotropica*, v. 11, p. 87–94, 2011.

FRANKIE, G.; THORP, R. W.; SCHINDLER, M.; HERNANDEZ, J.; ERTTER, B.; RIZZARDI, M. **Ecological patterns of bees and their host ornamental flowers in two northern California cities**. *Journal of the Kansas Entomological Society*, v. 78, p. 227-246, 2005.

GOUVEIA, R. G. L.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. **Aplicação do índice de Transformação Antrópica, na análise multitemporal da Bacia do Córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra – MT**. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 1045-1054, 2013.

GOULSON, D.; O'CONNOR, S.; PARK, K. J. **The impacts of predators and parasites on wild bumblebee colonies:** Monitoring survival of bumblebee colonies. *Ecological Entomology*, v. 43, p. 168–181, 2018. <https://doi.org/10.1111/een.12482>

GUO, Q. F.; RICKLEFS, R. E. **Domestic exotics and the perception of invasibility.** *Diversity and Distributions*, v. 16, n. 6, p. 1034–1039, 2010.

GRANDOLFO, V. A.; BOZZA JUNIOR, R. C.; SILVA NETO, C. M.; MESQUITA NETO, J. N.; GONÇALVES, B. B. **Riqueza e Abundância de Abelhas Euglossini (Hymenoptera, Apidae) em Parques Urbanos de Goiânia, Goiás.** *Entomo Brasilis*, v. 6, n. 2, p. 126–131, 2013.

HANSKI, I. **Metapopulation dynamics.** *Nature*, v. 396: p. 41–49, 1998. <https://doi.org/10.1038/23876>

HARRISON, T.; GIBBS, J.; WINFREE, R. **Forest bees are replaced in agricultural and urban landscapes by native species with different phenologies and life-history traits.** *Global Change Biol*, v. 24, n. 1, p. 287–296, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13921>

HAUTIER, Y. et al. **Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity.** *Science*, v. 348, p. 336–340, 2015.

HERIBERTO, A.; TEIXEIRA, C. **Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro - 1963 a 2009,** in: Documentos 233 Online. EMBRAPA Semiárido, Petrolina, p. 1–23, 2010.

HILLS, H. G.; WILLIAMS, N. H.; DODSON, C. H. **Identification of some orchid fragrance components.** *American Orchid Society Bulletin*, v. 37, p. 967–971, 1968.

HOOPER, D. U. et al. **A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change.** *Nature*, v. 486, p. 105–108, 2012.

JANZEN, D. H. **Euglossine bees as long-distance pollinators of tropical plants.** *Science*, v. 171, n. 3967, p. 203–205, 1971.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F.; GALVÍNCIO, J. D. **A dinâmica climática do semiárido em Petrolina-PE.** *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 10, n. 1, p. 136–149, 2017.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; DA CUNHA, C. N.; GONCALVES, S. R. A.; WANTZEN, K. M.; WITTMANN, F. **Riparian wetlands of low-order streams in Brazil: extent, hydrology, vegetation cover, interactions with streams and uplands, and threats.** *Hydrobiologia*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05056-8>

LEHTILÄ K. et al. **Forest succession and population viability of grassland plants: long repayment of extinction debt in *Primula veris*.** *Oecologia*, v. 181, p. 125–135, 2016.

LÔBO, D.; LEÃO, T.; MELO, F. P. L.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. **Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization**. Diversity and Distributions, v. 17, n. 2, p. 287-296, 2011.

LOPES, A. V.; MACHADO, I. C.; AGUIAR, A. V.; REBÊLO, J. M. M. **A scientific note on the occurrence of Euglossini bees in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest**. Apidologie, v. 38, p. 472–473, 2007.

LOPES, V. A.; MACHADO, I. C. **Floral biology and reproductive ecology of *Clusia nemorosa* (Clusiaceae) in northeastern Brazil**. Plant Systematics and Evolution v. 213, p. 71–90, 1998.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton NJ: Princeton University Press, 1967.

MARTINS, C. F.; MOURA, A. C. A.; BARBOSA, M. R. V. **Bee plants and relative abundance of corbiculate Apidae species in a Brazilian Caatinga Area**. Revista Nordestina de Biologia, v. 17, p. 63–74, 2003.

MATTESON, K. C.; ASCHER, J. S.; LANGELLOTTO, G. A. **Bee richness and Abundance in New York City Urban Gardens**. Annals of the Entomological Society of America, v. 101, n. 1, p. 140-150, 2008.

MATTISON, E. H.; NORRIS, K. **Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and biodiversity**. Trends in Ecology & Evolution, n. 20, p. 610–616, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.011>

MELO, D. H. A.; FREITAS, A. V. L.; TABARELLI, M.; FILGUEIRAS, B. K. C.; LEAL, I. R. **Aridity and chronic anthropogenic disturbance as organizing forces of fruit-feeding butterfly assemblages in a Caatinga dry forest**. Biotropica 55, p. 173–184, 2023. <https://doi.org/10.1111/btp.13173>

MCKINNEY, M. L.; LOCKWOOD, J. L. **Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction**. Trends in ecology & evolution, v. 14, n. 11, p. 450-453, 1999.

MCKINNEY, M. L. **Urbanization as a major cause of biotic homogenization**. Biol Conserv, v. 109, p. 37–45, 2006.

MCINTYRE, N. E.; HOSTETLER, M. E. **Effects of urban land use on pollinator (Hymenoptera: Apoidea) communities in a desert metropolis**. Basic Appl Ecol, p. 209–218, 2001.

MICHENER, C. D. **The social behavior of the bees**. A comparative study Harvard University Press, Cambridge, 1974.

MICHENER, C. D. **The Bees of the World**. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 2000.

MICHENER, C. D. The Bees of the World. **Second edition**. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 2007.

MILET-PINHEIRO, P.; SCHLINDWEIN, C. **Do Euglossine males (Apidae, Euglossini) leave tropical rainforest to collect fragrances in sugarcane monocultures?**. Revista Brasileira de zoologia, v. 22, n. 4, p. 853–858, 2005.

METZGER, J. P.; VILLARREAL-ROSAS, J.; SUÁREZ-CASTRO, A. F.; LÓPEZ-CUBILLOS, S.; GONZÁLEZ-CHAVES, A.; RUNTING, R. K.; HOHLENWERGER, C.; RHODES, J. R. **Considering landscape-level processes in ecosystem service assessments**. Science of the total Environment, v. 796, p. 149028, 2021.

MONTOYA-PFEIFFER, P. M.; RODRIGUES, R. R.; ALVES DOS SANTOS, I. **Bee pollinator functional responses and functional effects in restored tropical forests**. Ecological Applications 30, e02054, 2020. <https://doi.org/10.1002/eap.2054>

MOURA, D. C.; SCHLINDWEIN, C. **Mata Ciliar do Rio São Francisco como Biocorredor para *Euglossini* (Hymenoptera: Apidae) de Florestas Tropicais Úmidas**. Neotropical Entomology, v. 38, p. 281-284, 2009.

MOURE, J. S.; URBAN, D.; MELO, G. A. R. **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region**. Sociedade Brasileira de Entomologia, Curitiba, 2012.

MORRIS, D. W.; HEIDINGA, L. **Balancing the books on biodiversity**. Conservation Biology, v. 11, p. 287–290, 1997.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. (2000). **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v. 403, n. 6772, p. 853-859, 2000.

NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. **Edge effects on the orchid-bee fauna (Hymenoptera: Apidae) at a large remnant of Atlantic Rain Forest in southeastern Brazil**. Neotropical Entomology, v. 35, p. 313-323, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000300004>

NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. **Diversity and Distribution of Orchid Bees (Hymenoptera: Apidae) with a Revised Checklist of Species**. Neotropical Entomology, v. 36, p. 874-888, 2007.

NEMÉSIO A. **Orchid bees (Hymenoptera: Apidae) of the Brazilian Atlantic Forest**. Zootaxa, v. 2041, n. 1, p. 1–242, 2009.

NEMÉSIO, A. ***Euglossa marianae* sp. n. (Hymenoptera: Apidae): a new orchid bee from the Brazilian Atlantic Forest and the possible first documented local extinction of a forest-dependent orchid bee**. Zootaxa 2892, p. 59–68, 2011.

NEMÉSIO, A.; SANTOS, L. M.; VASCONCELOS, H. L. **Long-term ecology of orchid bees in an urban forest remnant.** *Apidologie*, v. 46, n. 3, p. 359–368, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0328-8>

NÓBREGA, R. L. B.; ZIEMBOWICZ, T.; TORRES, G. N.; GUZHA, A. C.; AMORIM, R. S. S.; CARDOSO, D.; JOHNSON, M. S.; SANTOS, T. G.; COUTO, E.; GEROLD, G. **Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon–Cerrado agricultural frontier.** *Glob Ecol Conserv* 21, e00819, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00819>

NOGUEIRA, C. R.; CRUZ, C. B. M.; AGAREZ, F. V.; VICENS, R. S. **Classificação de bacias hidrográficas em tabuleiros costeiros através de indicadores provenientes de sensoriamento remoto – estudo de caso em Linhares e Sooretama, ES.** In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2001, Foz do Iguaçu. *Anais*. v. 10, p. 955-958, 2001.

OBER, H. K.; HAYES, J. P. **Influence of forest riparian vegetation on abundance and biomass of nocturnal flying insects.** *For Ecol Manage* 256, p. 1124–1132, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.010>

OLIVEIRA, M. L.; MORATO, E. F.; GARCIA, M. V. B. **Diversidade de espécies e densidade de ninhos de abelhas sociais sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) em floresta de terra firme na Amazônia Central.** *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 12, n. 1, p. 13–24, 1995.

OLIVEIRA, R.; PINTO, C. E.; SCHLINDWEIN, C. **Two common species dominate the species-rich Euglossine bee fauna of an Atlantic Rainforest remnant in Pernambuco, Brazil.** *Braz J Biol*, v. 75, n. 4, suppl. 1, p. S1-S8, 2015. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.18513>

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. **A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America.** *Geophysical Research Letter*, v. 30, n. 23, p. 21–99, 2003.

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. **Diversidade, evolução e ecologia de plantas lenhosas nos trópicos: perspectivas de florestas tropicais sazonalmente secas.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 40, p. 437-457, 2009.

PERUQUETTI, R. C.; CAMPOS, L. A. O.; COELHO, C. D. P.; ABRANTES, C. V. M.; LISBOA, L. C. O. **Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos.** *Revista brasileira de Zoologia*, v. 16, n. 2, p. 101–118, 1999.

POWELL, A. H.; POWELL, G. V. N. **Population dynamics of male euglossine bees in Amazonian forest fragment.** *Bitropica*, v. 19, p. 176-179, 1987.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W. E. **Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers.** *Trends in Ecology & Evolution*, v. 25, p. 345–353, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

POTTS, S. G.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.; NGO, H. T.; AIZEN, M. A.; BIESMEIJER, J. C.; BREEZE, T. D.; DICKS, L. V.; GARIBALDI, L. A.; HILL, R.; SETTELE, J.; VANBERGEN, A. J. **Safeguarding pollinators and their values to human well-being**. *Nature*, v. 540, n. 7632, p. 220-229, 2016.

PREFEITURA DE PETROLINA, PE. <https://petrolina.pe.gov.br/historia/> Acessado em 04 JAN 2022 e 05 JUN 2023.

QIAN, H.; GUO, Q. F. **Linking biotic homogenization to habitat type, invasiveness and growth form of naturalized alien plants in North America**. *Diversity and Distributions*, v. 16, n. 1, p. 119-125, 2010.

RAMALHO, André Villaça. Comunidades de abelhas Euglossini (Hymenoptera; Apidae) em remanescentes de Mata Atlântica na bacia do Rio São João, RJ. **Monografia (Bacharelado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro**, 2006.

RAMALHO, A. V.; GAGLIANONE, M. C.; OLIVEIRA, M. L. **Comunidades de abelhas Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em fragmentos de Mata Atlântica no Sudeste do Brasil**. *Revista brasileira de entomologia*, v. 53, n. 1, p. 95-101, 2009.

RAMÍREZ, S. R.; DRESSLER, R. L.; OSPINA, M. **Abejas euglossinas (Hymenoptera: Apidae) de la Región Neotropical: Listado de especies con notas sobre su biología**. *Biota Colombiana*, v. 3, p. 7-118, 2002.

RAMÍREZ, S. R.; ROUBIK, D. W.; SKOV, C.; PIERCE, N. E. **Phylogeny, diversification patterns and historical biogeography of euglossine orchid bees (Hymenoptera: Apidae)**. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 100, p. 552-572, 2010.

RASMUSSEN C. **Diversidade e abundância de abelhas das orquídeas (Hymenoptera: Apidae, Euglossini) em uma sucessão de floresta tropical úmida**. *Neotrop Entomol*, v. 38, p. 812-9, 2009.

RCORETEAM. R: **A language and environment for statistical computing [WWW Document]**. URL <http://www.r-project.org/> (accessed 6.4.23) 2023.

REBÊLO, J. M. M.; GARÓFALO, C. A. **Diversidade e Sazonalidade de machos de Euglossini (Hymenoptera, Apidae) e preferências por iscas-odores em um fragmento de floresta no Sudeste do Brasil**. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 51, p. 787-799, 1991.

REBÊLO, J. M. M.; GARÓFALO, C. A. **Comunidades de machos de Euglossini (Hymenoptera, Apidae) em matas semidecíduas do Nordeste do estado de São Paulo**. *Anais da Sociedade Entomológica Brasileira*, v. 26, n. 2, p. 243-255, 1997.

REBÊLO, J. M. M. **História Natural das Euglossíneas**. As abelhas das orquídeas. *São Luís, Lithograf*, p. 152, 2001.

RIBEIRO, E. M. S.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; SANTOS, B. A.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. **Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation**. *Journal of Applied Ecology*, v. 52, p. 611–620, 2015.

RIBEIRO, M. F.; TAURA, T. A. **Presence of *Plebeia aff. flavocincta* nests in urban areas**. *Sociobiology*, v. 66, n. 1, p. 66–74, 2019.

ROCHA, S. P.; CRUZ, C. B. M. **Aplicação do ITA na análise espaço-temporal do entorno da BR-101 nos municípios de Angra dos Reis e Parati**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal, p. 1505-1512, 2009.

ROCHA-FILHO, L. C.; MONTAGNANA, P. C.; BOSCOLO, D.; GARÓFALO, C. A. **Species turnover and low stability in a community of euglossine bees (*Hymenoptera: Apidae*) sampled within 28 years in an urban forest fragment**. *Apidologie*, v. 51, n. 6, p. 921–934, 2020.

ROUBIK, D. W. **Ecology and Natural History of Tropical Bees**. New York: Cambridge University Press, 1989.

ROUBIK, D.W. Long-term studies of solitary bees: what the orchid bees are telling us, p. 97-103. In: Freitas BM, Pereira JOP (eds.). **Solitary bees. Conservation, rearing and management for pollination**. Imprensa Universitária, Fortaleza, 2004.

ROUBIK, D. W., ACKERMAN, J. D. **Long term ecology of Euglossine orchid bees (*Apidae:Euglossini*) in Panama**. *Oecologia*, v. 73, p. 321–333, 1987.

ROUBIK, D. W.; WEIGT, L. A.; BONILLA, M. A. **Population genetics, diploid males, and limits to social evolution of Euglossini bees**. *Evolution*, v. 50, n. 2, p. 931–935, 1996.

ROUBIK, D. W. **Up's and Down's in pollinator populations: when is there a decline?** *Cons Ecol*, v. 5, n. 1, 2001 [online] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art2>.

ROUBIK D.W., Hanson P.E. (2004). **Orchid bees of tropical America: biology and field guide**. Heredia INBio Press, 370p.

ROULSTON, T.; GOODELL, K. **The role of resources and risks in regulating wild bee populations**. *Annual Review of Entomology*, v. 56, p. 293–312, 2011. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144802>

RODRIGUES, G. A.; SILVA, M. M. S. N.; SOUSA, A. P.; FURTADO, F. A. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. M. B. O. **Estudos com Euglossini (*Hymenoptera: Apidae*) no Brasil: uma análise cienciométrica das últimas cinco décadas**. *enciclopédia biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15, n. 27, p. 250, 2018.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. **Degradação ambiental e desertificação no Semi-árido Brasileiro**. Em: ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; PELLEGRINO, G. Q. (eds) *Mudanças*

climáticas e desertificação no Semi-Árido brasileiro. Embrapa Semi-Árido/Embrapa Informática Agropecuária, Petrolina/Campinas, p. 53 – 76, 2009.

SANTOS, M. N.; DELABIE, J. H. C.; QUEIROZ, J. M. **Biodiversity conservation in urban parks: a study of ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) in Rio de Janeiro City**. Urban Ecosystems, v. 22, p. 927–942, 2019.

SCHLINDWEIN, C. **A importância das abelhas especializadas na polinização de plantas nativas e conservação do meio ambiente**. Anais do 4º Encontro sobre abelhas, p. 131-141, 2000.

SCHLINDWEIN, C. Abelhas Solitárias e Flores: Especialistas são Polinizadores Efetivos? In: **55º Congresso Nacional de Botânica 26º Encontro Regional de Botânicos de MG, BA e ES**. Simpósios, Palestras e Mesas Redondas, CD-ROM, p. 1-8, 2004.

SILVA, D. P.; DE MARCO, P. **No evidence of habitat loss affecting the orchid Bees *Eulaema nigrita* Lepeletier and *Eufriesea auriceps* friese (Apidae: Euglossini) in the Brazilian Cerrado Savanna**. Neotrop Entomol 43, p. 509–518, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0244-7>

SILVA, T. S.; XAVIER, J. R. S.; ANDRADE, A. C. R.; SILVA. **Diversidade de abelhas euglossini (hymenoptera: apidae) nos fragmentos remanescentes de caatinga**. 08 a 12 de outubro, UFV, Viçosa, MG, 2017.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Ed.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. 2017. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>

SILVA, D. A. O.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. L. B.; SANTOS, J. E. B.; SILVA, E. M.; CRUZ CORREIO, A. F. S.; SANTOS, W. M.; CHINCHILLA, S. R. A.; SILVA, R. B.; NASCIMENTO, C. **Monitoring of degradation in the Caatinga biome in the semi-arid northeastern region, Brazil**. Revista Brasileira de Geografia Física 13, p. 2293–2303, 2020.

SILVA, G. S.; JAHNKE, S. M.; JOHNSON, N. F. **Riparian forest fragments in rice fields under different management: Differences on hymenopteran parasitoids diversity**. Brazilian Journal of Biology 80, p. 122–132, 2020. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.194760>

SILVA-ARAÚJO, M.; SILVA-JUNIOR, E. F.; NERES-LIMA, V.; FEIJÓ-LIMA, R.; TROMBONI, F.; LOURENÇO-AMORIM, C.; THOMAS, S. A.; MOULTON, T. P.; ZANDONÀ, E. **Effects of riparian deforestation on benthic invertebrate community and leaf processing in Atlantic forest streams**. Perspect Ecol Conserv 18, p. 277–282, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.09.004>

SILVEIRA, G. C. **Estrutura de comunidades de abelhas Euglossina (Hymenoptera; Apidae) e análise da distribuição em florestas estacionais semidecíduais e em paisagens fragmentadas no sudeste do Brasil**. Tese de

Doutorado apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos GOYTACAZES-RJ, 2014.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas brasileiras: sistemática e identificação**. Belo Horizonte: Silveira, F. A., 2002, p. 253: il. ISBN. 85-903034-1-1, t: <https://www.researchgate.net/publication/280112185> Acessado em 12 NOV 2022.

SINGH, S. P. **Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries**. Environmental Conservation, v. 25, p. 1–2, 1998. <https://doi.org/10.1017/S0376892998000010>

SOUZA, A. K. P.; HERNÁNDEZ, M. I. M.; MARTINS, C. F. **Riqueza, abundância e diversidade de Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em três áreas da Reserva Biológica Guaribas, Paraíba, Brasil**. Revista Brasileira de Zoologia, v. 22, n. 2, p. 320–325, 2005.

SOUZA, M. M.; LOUZADA, J.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. **Social wasps (Hymenoptera: Vespidae) as indicators of conservation degree of riparian forests in southeast Brazil**. Sociobiology 56, p. 387–396, 2010.

SPECHT, M. J. et al. **Burning biodiversity: fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes**. Global Ecology and Conservation, v. 3, p. 200–209, 2015.

STORCK-TONON, D.; MORATO, E. F.; MELO, A. W. F.; OLIVEIRA, M. L. **Orchid bees of forest fragments in southwestern Amazonia**. Biota Neotropica, v. 13, p. 133–141, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100015>

STORCK-TONON, D.; PERES, C. A. **Forest patch isolation drives local extinctions of Amazonian orchid bees in a 26 years old archipelago**. Biol Conserv 214, p. 270–277, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.07.018>

TABARELLI, M.; PERES, C. A.; MELO, F. P. **The ‘few winners and many losers’ paradigm revisited: emerging prospects for tropical forest biodiversity**. Biological Conservation, v. 155, p. 136–140, 2012.

TAVARES, F. M.; SCHULZ, K.; PEREIRA, R. C. A.; CIERJACKS, A.; CORTEZ, J. S. A. **Floristic survey of the caatinga in areas with different grazing intensities, Pernambuco, Northeast Brazil**. Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 1, p. 43–51, 2016. <https://doi.org/10.24221/jeap.1.1.2016.986.43-51>

TEIXEIRA, L. R. et al. Potencialidades da classificação orientada a objetos em imagens SPOT5 no mapeamento de fitofisionomias do Cerrado. Revista **ESPACIOS**. v. 36, n. 20, p. 10–31, 2015.

TONHASCA, A.; BLACKMER, J. L.; ALBUQUERQUE, G. S. **Abundance and Diversity of Euglossine Bees in the Fragmented Landscape of Brazilian Atlantic Forest**. Biotropica, v. 34, n. 3, p. 416–422, 2002.

TONHASCA, JR. A.; BLACKMER, J. L.; ALBUQUERQUE, G. S. **Within-habitat heterogeneity of euglossine bee populations: a re-evaluation of the evidence.** *Journal of Tropical Ecology*, v. 18, n. 6, p. 929-933, 2002.

TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D. **Observations: surface and atmospheric climate change.** In: SOLOMON, S. D.; QIN, M.; MANNING, Z.; CHEN, M.; MARQUIS, K. B.; AVERYT, M.; MILLER, H. L. (eds.). *Climate Change (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007.

WEBER, M.G. et al. **Macroevolution of perfume signalling in orchid bees.** *Ecology Letters*, v. 19, p. 1314–1323, 2016.

WHITTEN, W. M.; YOUNG, A.; STERN, D. **Nonfloral sources of chemicals that attract male euglossine bees (Apidae: Euglossini).** *Journal of Chemical Ecology*, v. 19, p. 3017–3027, 1993.

WILLIAMSON, M. **Biological Invasions**, Chapman & Hall, 1996.

WILKIE, D.; SHAW, E.; ROTBERG, F.; MORELLI, G.; AUZEL, P. **Roads, development, and conservation in the Congo Basin.** *Conservation Biology*, v. 14, p. 1614–1622, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99102.x>

WILLIAMS, N. M.; CRONE, E. E.; ROULSTON, T. H.; MINCKLEY, R. L.; PACKER, L.; POTTS, S. G. **Ecological and life history traits predict bee species responses to environmental disturbances.** *Biological Conservation*, v. 143, p. 2280–2291, 2010.

WITTMANN, D.; HAMM, A.; MACHADO, I. C.; SCHIFFLER, D.; SCHLINDWEIN, C. **Artenvielfalt von Euglossinen in einem Regenwald-Fragment und angrenzenden landwirtschaftlichen Nutzflächen in Pernambuco, Brasilien, Beitr. Hymenopterologen-Tagung in Stuttgart**, p. 67–70, 2000.

WINFREE, R.; BARTOMEUS, I.; CARIVEAU, D. P. **Native pollinators in anthropogenic habitats.** *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, v. 42, p. 1–22, 2011.

KERR, J. T.; PINDAR, A.; GALPERN, P.; PACKER, L.; POTTS, S. G.; ROBERTS, S. M.; RASMONT, P.; SCHWEIGER, O.; COLLA, S. R.; RICHARDSON, L. L.; WAGNER, D. L.; GALL, L. F.; SIKES, D. S.; PANTOJA, A. **Climate change impacts on bumblebees converge across continents.** *Science*, v. 349, p. 177–180, 2015.

KENNEDY, C. M.; LONSDORF, E.; NEEL, M. C.; WILLIAMS, N. M.; RICKETTS, T. H.; WINFREE, R.; BOMMARCO, R.; BRITTAIN, C.; BURLEY, A. L.; CARIVEAU, D.; CARVALHEIRO, L. G. et al. **A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems.** *Ecology Letters*, v. 16, p. 584–599, 2013. <https://doi.org/10.1111/ele.12082>

KIMSEY, L. S.; DRESSLER, R. L. **Synonymic species list of Euglossini**. The Pan-Pacific Entomologist, v. 62, p. 229–236, 1986.

VITOUSEK, P. M. et al. **Biological invasions as global environmental change**, Am. Sci, v. 84, p. 468–478, 1996.

VOGEL, S. **Parfümsammelnde Bienen als Bestäuber von Orchidaceen und Gloxinia**. Österreichische Botanische Zeitschrift, v. 113, p. 302–361, 1966.

VOGEL, S. **Ecophysiology of zoophilic pollination**. Vol 12C, p. 560-624, 1983. In: LANGE, O. L.; NOBEL, P. S.; OSMOND, C. B.; ZIEGLER, H. (eds). Encyclopedia of Plant Physiology: Physiological Plant Ecology III. Springer Verlag, Berlin, 1983.

VOSSLER, F. G. **Native and ornamental exotic resources in pollen loads and garbage pellets of four stingless bees (Apidae, Meliponini) in an urban environment with riparian native forest**. An Acad Bras Cienc 91, p. 1–13, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190360>

ZANELLA, F. C. V. **The bees of the Caatinga (Hymenoptera, Apoidea, Apiformes): a species list and comparative notes regarding their distribution**, Apidologie, v. 31, p. 579–592, 2000.

ZANELLA, F. C. V.; MARTINS, C. F. (2003). **Abelhas da Caatinga: biogeografia, ecologia e conservação**, in: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.) Ecologia e conservação da Caatinga, Editora Universitária –UFPE, Recife, p. 75–134, 2003.

ZANETTE, L. R. S.; MARTINS, R. P.; RIBEIRO, S. P. **Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a brazilian metropolis**. Landscape and Urban Planning, v. 71, p. 105–121, 2005.

ZUCCHI, R.; SAKAGAMI, S. F.; CAMARGO, J. M. F. **Biological observations on a neotropical parasocial bee, *Eulaema nigrita*, with a review on the biology of Euglossinae (Hymenoptera, Apidae)**. A comparative study. Journal Faculty Science Hokkaido University Series VI, v. 17, p. 271-380, 1969.

ZHANG, X. et al. Mapping flood by the object-based method using backscattering coefficient and interference coherence of Sentinel-1 time series. **Science of The Total Environment**, v. 794, p. 14-38, 2021.

ZIMMERMANN, Y. et al. **Single mating in orchid bees (Euglossa, Apinae): implications for mate choice and social evolution**. Insectes Society, v. 56, p. 241–249, 2009.

APÊNDICE A - DADOS PARA CADASTRO DOS PROJETOS NA PLATAFORMA ÁTRIO

Título: Efeito do uso do *habitat* sobre a abundância, riqueza e diversidade de machos de Euglossini (Hymenoptera: Apidae) em áreas de floresta seca em Pernambuco.

- Natureza Pesquisa
- Situação em andamento
- Início: 04/2021
- Fim: 31/03/2023 – não obrigatório
- Responsáveis: Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Milet Pinheiro
- Orientando(a): Aline Mariza Costa Mariano
- Coorientador(a): Dra. Márcia de Fátima Ribeiro
- Discentes de graduação/IC: Eduardo Gonçalves dos Santos
- Unidade de Pesquisa: Laboratório de Ciências - UPE
- Área de Conhecimento: Ciências Ambientais
- Linha de Pesquisa: Recursos Naturais e Sustentabilidade
- Área de Concentração: Ciência e Tecnologia Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável
- URL: se houver
- **Palavras-chave:** Euglossini, Abelhas das orquídeas, Conservação, Essências artificiais, Polinizadores.

Descrição: As abelhas da tribo Euglossini (Apidae) são importantes polinizadoras de florestas neotropicais, contribuindo para a reprodução de cerca de 30 famílias vegetais. Os machos dessas abelhas coletam substâncias químicas em diversas fontes naturais, tais como flores, madeira, frutas em decomposição e fungos, comportamento este que é explorado pelos pesquisadores para estudar diversos aspectos da biologia desses animais. Na literatura, existem evidências de que a transformação do *habitat* influencia as populações dessas abelhas em áreas de florestas úmidas. No entanto, estudos que avaliam a resposta das populações dessas abelhas em áreas de Caatinga são escassos. Este trabalho visou inventariar as espécies de Euglossini que ocorrem na região de Petrolina-PE e avaliar, de forma comparativa, como as populações dessas abelhas reagem a diferentes níveis de pressão antrópica no ambiente. O estudo foi realizado de setembro de 2021 a outubro de 2022 em sete áreas com diferentes tipos de usos antrópicos. Mensalmente, foram colocadas armadilhas de cheiro em cada uma das áreas (entre 8 e 12h) para atrair e capturar os machos. Foram coletados ao total 237 machos. O gênero mais representativo foi *Euglossa*, com 172 indivíduos e 7 espécies, seguido de *Eulaema*, com 65 indivíduos de uma única espécie. As espécies mais abundantes foram *Euglossa cordata* (150 machos coletados) e *Eulaema nigrita* (65). Na área de mata ciliar foi coletado o maior número de indivíduos (158) e espécies (8). Na área da orla de Petrolina, também na margem do rio, foram coletados 17 indivíduos de 4 espécies. Nas demais áreas, foram amostrados entre 33 e 5 indivíduos. As análises estatísticas demonstraram que as abelhas Euglossini são mais abundantes e apresentam uma maior riqueza nas áreas mais próximas ao rio e indicam que elas sofrem influência direta da pressão antrópica. Porém existe uma interação entre os fatores, ou seja, a distância da margem do rio e o índice de transformação antrópica. Dessa forma, as áreas com remanescentes de vegetação nativa comportam uma maior abundância de indivíduos e riqueza de espécies. Os resultados mostraram que em áreas de Caatinga

a abundância e riqueza de Euglossini são maiores nas margens dos rios. Portanto os remanescentes de mata ciliar são vitais para manter populações dessas abelhas.

- Comentários: se houver alguma informação adicional que se queira acrescentar
- Financiador: CAPES

English

Title: Effect of habitat use on the abundance, richness and diversity of Euglossini (Hymenoptera: Apidae) males in dry forest areas in Pernambuco.

Description: Bees from the Euglossini tribe (Apidae) are important pollinators of neotropical forests, contributing to the reproduction of about 30 plant families. The males of these bees collect chemical substances from various natural sources, such as flowers, wood, decaying fruits and fungi, a behavior that is explored by researchers to study various aspects of the biology of these animals. In the literature, there is evidence that the transformation of the habitat influences the populations of these bees in areas of humid forests. However, studies that evaluate the response of these bee populations in Caatinga areas are scarce. This work aimed to inventory the species of Euglossini that occur in the region of Petrolina-PE and to evaluate, in a comparative way, how the populations of these bees react to different levels of anthropic pressure in the environment. The study was carried out from September 2021 to October 2022 in seven areas with different types of anthropic uses. Monthly, scent traps were placed in each of the areas (between 8 and 12h) to attract and capture males. A total of 237 males were collected. The most representative genus was Euglossa, with 172 individuals and 7 species, followed by Eulaema, with 65 individuals of a single species. The most abundant species were Euglossa cordata (150 males collected) and Eulaema nigrita (65). In the riparian forest area, the largest number of individuals (158) and species (8) were collected. In the Petrolina waterfront area, also on the river bank, 17 individuals of 4 species were collected. In the other areas, between 33 and 5 individuals were sampled. Statistical analyzes showed that Euglossini bees are more abundant and richer in areas closer to the river and indicate that they are directly influenced by anthropic pressure. However, there is an interaction between the factors, that is, the distance from the riverbank and the rate of anthropic transformation. Thus, areas with remnants of native vegetation have a greater abundance of individuals and species richness. The results showed that in areas of Caatinga the abundance and richness of Euglossini are greater on the banks of the rivers. Therefore, the remnants of riparian forest are vital to maintain populations of these bees.

Keywords: Euglossini, Orchid bees, Conservation, Artificial essences, Pollinators.

Español

Título: Efecto del uso del hábitat sobre la abundancia, riqueza y diversidad de machos de Euglossini (Hymenoptera: Apidae) en áreas de bosque seco en Pernambuco.

Descripción: Las abejas de la tribu Euglossini (Apidae) son importantes polinizadores de los bosques neotropicales, contribuyendo a la reproducción de unas 30 familias de plantas. Los machos de estas abejas recolectan sustancias químicas de varias fuentes naturales, como flores, madera, frutas en descomposición y hongos, un comportamiento que los investigadores exploran para estudiar varios aspectos de la

biología de estos animales. En la literatura existe evidencia de que la transformación del hábitat influye en las poblaciones de estas abejas en áreas de bosques húmedos. Sin embargo, los estudios que evalúan la respuesta de estas poblaciones de abejas en las áreas de Caatinga son escasos. Este trabajo tuvo como objetivo inventariar las especies de Euglossini que ocurren en la región de Petrolina-PE y evaluar, de forma comparativa, cómo las poblaciones de estas abejas reaccionan a diferentes niveles de presión antrópica en el medio ambiente. El estudio se llevó a cabo desde septiembre de 2021 hasta octubre de 2022 en siete áreas con diferentes tipos de usos antrópicos. Mensualmente se colocaron trampas de olor en cada una de las áreas (entre las 8 y las 12h) para atraer y capturar a los machos. Se recogieron un total de 237 machos. El género más representativo fue *Euglossa*, con 172 individuos y 7 especies, seguido de *Eulaema*, con 65 individuos de una sola especie. Las especies más abundantes fueron *Euglossa cordata* (150 machos recolectados) y *Eulaema nigrita* (65). En el área de bosque de ribera se recolectó el mayor número de individuos (158) y especies (8). En la costanera de Petrolina, también en la ribera del río, se colectaron 17 individuos de 4 especies. En las demás áreas se muestrearon entre 33 y 5 individuos. Los análisis estadísticos mostraron que las abejas Euglossini son más abundantes y ricas en las áreas más cercanas al río e indican que están directamente influenciadas por la presión antrópica. Sin embargo, existe una interacción entre los factores, es decir, la distancia a la ribera y la tasa de transformación antrópica. Así, las áreas con remanentes de vegetación nativa presentan una mayor abundancia de individuos y riqueza de especies. Los resultados mostraron que en áreas de Caatinga la abundancia y riqueza de Euglossini es mayor en las márgenes de los ríos. Por lo tanto, los remanentes de bosque de ribera son vitales para mantener las poblaciones de estas abejas.

Palabras clave: Euglossini, Abejas orquídeas, Conservación, Esencias artificiales, Polinizadores.