



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA  
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ECOLOGIA E  
BIODIVERSIDADE**

**EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO NA MORFOLOGIA DOS ORGANISMOS:  
VARIAÇÃO NA FORMA DAS ASAS DE *Eufriesea violacea* (BLANCHARD, 1840)  
(INSECTA: HYMENOPTERA: APIDAE) EM UMA PAISAGEM ALTAMENTE  
FRAGMENTADA NO OESTE DO PARANÁ**

**LUCCAS MELO MOREIRA**

Foz do Iguaçu  
2022



INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS  
DA VIDA E DA NATUREZA (ILACVN)

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ECOLOGIA E  
BIODIVERSIDADE

EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO NA MORFOLOGIA DOS ORGANISMOS:  
VARIAÇÃO NA FORMA DAS ASAS DE *Eufriesea violacea* (BLANCHARD, 1840)  
(INSECTA: HYMENOPTERA: APIDAE) EM UMA PAISAGEM ALTAMENTE  
FRAGMENTADA NO OESTE DO PARANÁ

**LUCCAS MELO MOREIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências, da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas - Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Doutor Luiz Roberto Ribeiro Faria Júnior

Foz do Iguaçu  
2022

LUCAS MELO MOREIRA

EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO NA MORFOLOGIA DOS ORGANISMOS:  
VARIAÇÃO NA FORMA DAS ASAS DE *Eufriesea violacea* (BLANCHARD, 1840)  
(INSECTA: HYMENOPTERA: APIDAE) EM UMA PAISAGEM ALTAMENTE  
FRAGMENTADA NO OESTE DO PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências, da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas - Ecologia e Biodiversidade.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Ribeiro Faria Júnior  
UNILA

---

Profa. Dra. Elaine Della Giustina Soares  
UNILA

---

Prof. Dr. Fernando César Vieira Zanella  
UNILA

Foz do Iguaçu, 04 de abril de 2022.

## TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Luccas Melo Moreira

Curso: Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade

		Tipo de Documento
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo	
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso	
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia	
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação	
	<input type="checkbox"/> tese	
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais	
	<input type="checkbox"/> _____	

Título do trabalho acadêmico: Efeitos da fragmentação na morfologia dos organismos: Variação na forma das asas de *Eufriesea violacea* (Blanchard, 1840) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) em uma paisagem altamente fragmentada no Oeste do Paraná

Nome do orientador(a): Luiz Roberto Ribeiro Faria Júnior

Data da Defesa: 04 / 04 / 2022

### Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, 25 de Abril de 2022.

---

Assinatura do Responsável

*A confusão é o princípio para o entendimento. **Autor desconhecido***

MOREIRA, Luccas Melo. Efeitos da fragmentação na morfologia dos organismos: Variação na forma das asas de *Eufriesea violacea* (Blanchard, 1840) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) em uma paisagem altamente fragmentada no Oeste do Paraná. 2022. 34. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas- Ecologia e Biodiversidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

## RESUMO

A destruição dos ambientes naturais está diretamente ligada ao processo de fragmentação, i.e. a divisão do hábitat em fragmentos menores e mais isolados. A fragmentação afeta negativamente os parâmetros físicos e bióticos dos ambientes, afetando a distribuição e abundância das espécies, bem como a morfologia e comportamento dos indivíduos. Pensando em insetos voadores, que dependem do voo para suas atividades, é bastante razoável esperar que mudanças nas estruturas associadas ao voo ocorram em ambientes fragmentados. Deste modo, temos como objetivo avaliar a variação na forma das asas de machos de *Eufriesea violacea* coletados no Parque Nacional do Iguaçu (PNI) e em pequenos fragmentos florestais do oeste do Paraná, esperando que a circularidade da asa seja maior em indivíduos do parque, além de avaliar se a relação alométrica entre tamanho de corpo e circularidade das asas é diferente nos dois ambientes, esperando uma relação positiva mais forte para os indivíduos coletados no PNI. Não encontramos diferença significativa na circularidade das asas dos indivíduos coletados no PNI e nos fragmentos. No caso, porém, das alometrias, observamos que as inclinações das retas, i.e. o expoente alométrico, eram diferentes nos dois ambientes: encontramos uma relação positiva entre tamanho e circularidade para os indivíduos coletados no PNI e negativa para os indivíduos coletados nos fragmentos. Interpretamos a diferença considerando a seleção de asas mais circulares no PNI, condição associada à manobrabilidade e voos mais controlados em um ambiente estruturalmente mais complexo, enquanto nos fragmentos haveria a seleção de asas mais alongadas, associadas a voos mais longos em um contexto onde os recursos estão mais esparsamente distribuídos.

**Palavras-chave:** Euglossini. Abelha euglossina. Fragmentação Ambiental. Forma de asa. Alometria.

MOREIRA, Luccas Melo. Effects of fragmentation on the morphology of organisms: Variation in the wing shape of *Eufriesea violacea* (Blanchard, 1840) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) in a highly fragmented landscape in western Paraná. 2022. 34. Course Conclusion Document (Biological Sciences - Ecology and Biodiversity) - Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu, 2022.

## ABSTRACT

The destruction of natural environments is directly linked to fragmentation, i.e. the division of habitat into smaller and more isolated fragments. Fragmentation negatively impacts physical and biotic parameters of environments, affecting the distribution and abundance of species, besides the morphology and behaviour of individuals. Considering flying insects, whose life history is deeply connected to flight itself, it seems reasonable to assume that habitat fragmentation led to changes of structures associated to flight. Thus, we aim at evaluating changes in the shape of the wings of males of *Eufriesea violacea* collected at the Parque Nacional do Iguaçu (PNI) and in small fragments in western Paraná State, Brazil, expecting that the wing circularity is higher for males collected at PNI. We also evaluate the allometric relationships between body size and wing circularity, expecting a stronger positive interaction, i.e. higher slopes for the specimens collected at PNI. The difference in the circularity of the wings of individuals from PNI and small fragments was not statistically significant. On the other hand, when considering the allometric relationships, we found that the slopes, i.e. the allometric coefficients, were different for the two environments: a positive relation between body size and wing circularity was found for individuals from the PNI, while a negative relation was found for individuals from small fragments. We interpreted this difference considering the selection of more circular wings at PNI, a condition associated with maneuverability and more controlled flights along a environment that is structurally more complex, while in fragments selection would favour more elongated wings, a condition associated with longer flights in places where resources are more sparse.

**Key words:** Euglossini. Euglossine bee. Environmental Fragmentation. Wing Shape. Allometry.

MOREIRA, Luccas Melo. Efectos de la fragmentación en la morfología de los organismos: Variación en la forma de las alas de *Eufriesea violacea* (Blanchard, 1840) (Insecta: Hymenoptera: Apidae) en un paisaje altamente fragmentado del Oeste de Paraná.: 2022. 34. Documento de Conclusión del Curso (Ciencias Biológicas - Ecología y Biodiversidad) - Universidad Federal de Integración Latinoamericana, Foz do Iguaçu, 2022.

## RESUMEN

La destrucción de los entornos naturales está directamente relacionada con el proceso de fragmentación, e.i.. La división del hábitat en fragmentos más pequeños y aislados. La fragmentación afecta negativamente los parámetros físicos y bióticos de los ambientes, afectando la distribución y abundancia de las especies, así como la morfología y comportamiento de los individuos. Teniendo en cuenta los insectos voladores, que dependen del vuelo para sus actividades, es bastante razonable esperar que se produzcan cambios en las estructuras asociadas con el vuelo en entornos fragmentados. Por lo tanto, nuestro objetivo es evaluar la variación en la forma de las alas de los machos de *Eufriesea violacea* recolectados en el Parque Nacional de Iguaçu (PNI) y en pequeños fragmentos de bosque en el oeste de Paraná, con la esperanza de que la circularidad del ala sea mayor en los individuos del parque, además a evaluar si la relación alométrica entre el tamaño del cuerpo y la circularidad del ala es diferente en los dos ambientes, esperando una relación positiva más fuerte para los individuos recolectados en el PNI. No encontramos diferencia significativa en la circularidad del ala de los individuos recolectados en el PNI y en los fragmentos. Sin embargo, en el caso de las alometrías, observamos que las pendientes de las líneas, e.i., el exponente alométrico, fueron diferentes en los dos ambientes: encontramos una relación positiva entre tamaño y circularidad para los individuos recolectados en el PNI y una relación negativa para los individuos recolectados en los fragmentos. Interpretamos la diferencia considerando la selección de las alas más circulares en el PNI, condición asociada a la maniobrabilidad y vuelos más controlados en un entorno estructuralmente más complejo, mientras que en los fragmentos habría una selección de alas más alargadas, asociada a vuelos más largos en un contexto en el que los recursos están más escasamente distribuidos.

**Palabras clave:** Euglossini. Abeja euglosina. Fragmentación Ambiental. Forma de ala. Alometría.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Imagem 1</b> – Mapa da região dos pontos de coletas no Oeste do Paraná .....	16
<b>Imagem 2</b> – Ilustração da armadilha de captura utilizada.....	17
<b>Imagem 3</b> – Foto da asa anterior direita com evidência dos marcos anatômicos (pontos numerados) e polígono gerado para representação da circularidade (em vermelho). .....	18
<b>Imagem 4</b> – Boxplot do comparativo da distribuição dos índices de circularidade de asas oriundas do parque e fragmento.....	20
<b>Imagem 5</b> – Relação Alométrica entre circularidade e distancia intertegular nos indivíduos oriundos do parque e dos fragmentos.....	21
<b>Imagem 6</b> – Mapa histórico da cobertura florestal no estado do Paraná 1890/1980 .....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
2.1 LOCAL DO ESTUDO E COLETA.....	16
2.1.1 Obtenção dos Dados .....	17
2.1.1.1 <i>Análise dos dados</i> .....	18
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A destruição de ambientes naturais, a maior causa do declínio global da biodiversidade (e.g. RANDES et al. 2010), está diretamente associada ao processo de fragmentação, onde os habitats são divididos em fragmentos menores e mais isolados, separados por matrizes com coberturas de terra associadas às atividades humanas (HADDAD et al. 2015). A fragmentação do habitat é um fenômeno bem difundido e estudado, ainda que haja certas discordâncias na definição de padrões ou no sentido (positivos ou negativos) dos efeitos no ambiente (FAHRIG, 2003; RIES, 2004). Um dos principais efeitos associados à fragmentação é o efeito de borda, em grande parte negativo sobre a biodiversidade, onde quanto mais fragmentada for a área, maior é a intensidade do efeito de borda sobre ela (FAHRIG, 2003). Estima-se que, atualmente, 70% das florestas existentes no mundo estejam a uma distância da borda que não é superior a 1 km, mais diretamente sujeitas aos efeitos da fragmentação (HADDAD et al. 2015).

O cenário não parece muito diferente na região oeste do Paraná, onde se encontra uma paisagem constituída majoritariamente por áreas de agricultura intensiva (CIMA et al. 2021) e com fragmentos florestais que, com exceção do Parque Nacional do Iguaçu, são em maior parte menores do que 50 hectares (RIBEIRO et al. 2019). A região oeste do Paraná permaneceu majoritariamente florestada até a década de 1950, quando se iniciaram as ondas de imigração de colonos (BROCARD, 2017) sendo que as fronteiras agrícolas na região foram definitivamente implantadas na década de 1970 (ver LIMA et al. 2006).

A fragmentação altera diretamente os parâmetros físicos e bióticos do ambiente, e, deste modo, acaba tendo efeitos na riqueza/ distribuição de espécies (e.g. NEMÉSIO & SILVEIRA, 2010), na dinâmica das populações (e.g. ZAMBRANO & SALGUERO-GÓMEZ, 2014), no comportamento (alimentar, sexual, migratório, etc) (e.g. TÜZÜN et al. 2017) (revisto por SAUNDERS, 1991; MURCIA, 2005), tendo efeitos até mesmo nos traços morfológicos dos indivíduos (e.g. GIBBS & VAN DYCK, 2010; MURÚA, 2011).

Ainda que a maior parte dos estudos siga avaliando os efeitos da fragmentação na riqueza de espécies (TEIXIDO et al. 2020), buscando entender mais sobre o impacto que pode ocorrer nos organismos em decorrência da fragmentação, pesquisadores têm encontrado diversos tipos de variações morfológicas na fauna local, como por exemplo o tamanho e forma corporal em aves (BOCK, 1994), presença e

ausência de asa em insetos polimórficos (HARRISON, 1980), tamanho corporal em borboletas (GIBBS & VAN DYCK, 2010), comprimento de asa em abelhas (MURÚA, 2011; BRITO et al. 2021) e todos esses tipos de variações são tidas como respostas adaptativas às pressões do ambiente alterado (BOCK, 1994).

Sabendo que é possível haver variação morfológica em paisagens fragmentadas, diversas abordagens têm sido realizadas em insetos voadores. Nessas abordagens podem ser observadas mudanças significativas nas características relacionadas ao voo. (GIBBS & VAN DYCK, 2010). O voo claramente é uma característica multifuncional para os insetos, sendo possível alcançar áreas mais distantes para o forrageio, na busca por locais de oviposição ou de parceria sexual. Detalhes nestes comportamentos podem ser facilmente modificados quando colocados sob pressão dos efeitos do ambiente alterado (VAN DYCK & MATTHYSEN, 1999). É possível assumir, então, que paisagens fragmentadas favoreceriam a maior mobilidade dos organismos quando os recursos estiverem espalhados em vários fragmentos da paisagem (VAN DYCK & MATTHYSEN, 1999). Considerando o papel determinante das asas como instrumento de voo, encontramos que o tamanho e a forma estão totalmente relacionados à estabilidade e manobrabilidade do voo (WOOTTON, 1992) e variações em sua morfologia estão relacionadas com a intensidade dos fatores físicos sobre elas (DANFORTH, 1989). Se, por um lado, asas alongadas têm sido associadas a maior velocidade e distância de voo (e.g. DUDLEY, 1990; BERWAERTS & VAN DYCK, 2004), sugere-se também que asas mais globulares estariam relacionadas à maior manobrabilidade (e.g. FERNÁNDEZ-JURICIC et al. 2018), característica central para o voo em ambientes mais complexos (florestas contínuas no presente contexto) (e.g. RAVI et al. 2020). Não é possível, entretanto, considerar qualquer variação na asa isoladamente da variação do tamanho do corpo dos indivíduos (DANFORTH, 1989).

Seguindo nessa linha de raciocínio, de mudanças morfológicas e comportamentais relacionadas ao voo, abelhas da tribo Euglossini são fortes candidatas para estudo de dinâmica populacional em ambiente fragmentado (POWELL & POWELL, 1987; DARRAULT et al., 2006) pois possuem capacidade de voo estendida. Janzen (1971), por exemplo, observou indivíduos que percorreram 23 km de distância, além disso são capazes de atravessar longos trechos de áreas abertas, incluindo corpos hídricos (ACKERMAN & MONTALVO, 1985; DRESSLER, 1968; JANZEN, 1971 e TONHASCA et al., 2002; POKORNY, 2015). Mesmo possuindo amplo deslocamento, algumas espécies, tem íntima relação com o ambiente em que vivem, não buscando recursos fora de seu

componente florestal (DARRAULT et al., 2006), além disso alguns estudos de diversidade de espécies em áreas muito fragmentadas, tem mostrado grande redução na riqueza, levando algumas espécies a constituírem-se como bioindicadoras de áreas conservadas (MORATO, 1994; PERUQUETTI et al., 1999; AGUIAR & GAGLIANONE, 2008). Soma-se como característica relevante para torná-los bons modelos de estudo, a característica dos machos de coletores especializados de compostos aromáticos de diversas fontes na natureza, sendo que o voo de busca por tais compostos responde por grande parte da vida dos machos adultos (DRESSLER, 1982).

Formando um excepcional grupo de abelhas exuberantes, as Euglossini (Hymenoptera, Apidae) são donas de um brilho metalizado indescritível, refletido em tons de verde, azul, bronze e roxo (DRESSLER, 1982; SILVEIRA et al. 2002). Pertencente ao clado corbiculado (tribo Apini sensu MELO & GONÇALVES, 2005) - grupo das abelhas que possuem corbícula (estrutura côncava na tíbia posterior usada para coleta e transporte de pólen) -, a tribo Euglossini distingue-se das demais corbiculadas, por aspectos particulares da sua morfologia e comportamento (SCHULTZ, 2001; CAMERON, 2004). Sendo as únicas abelhas do clado corbiculado em que não se encontra comportamento eussocial (ver, porém, FARIA & MELO, 2020), tais abelhas constituem-se como peça-chave no entendimento da evolução da sociabilidade das abelhas (DRESSLER, 1982).

Trata-se de um grupo monofilético de abelhas neotropicais (RAMÍREZ et al., 2010), com distribuição que vai do sul dos Estados Unidos (MINCKLEY & REYES, 1996. GRISWOLD et al, 2015) até o centro da Argentina (PEARSON & DRESSLER, 1985) e sul do Brasil (WITTMANN et al. 1988) (ROUBIK & HANSON, 2004; CAMERON, 2004; MARGATTO et al., 2019). Encontram-se no grupo cerca de 240 espécies distribuídas em cinco gêneros: *Euglossa* Latreille, 1802; *Eufriesea* Cockerell, 1908; *Eulaema* Lepeletier, 1841; *Exaerete* Hoffmannsegg, 1817 e *Aglae* Lepeletier & Serville, 1825 (MOURE et al., 2012), sendo que dois desses gêneros possuem espécies que são cleptoparasitas (*Aglae*, cleptoparasita de *Eulaema* e *Exaerete*, cleptoparasita de *Eufriesea* e *Eulaema*) (DRESSLER, 1982; CAMERON, 2004; NEMÉSIO, 2009; RAMÍREZ et al., 2010).

Dotados de morfologia incomum, os machos de Euglossini possuem escovas tarsais nas pernas anteriores (prototorácicas) - muito utilizados na coleta de compostos odoríferos em fricção com superfícies -, e a tíbia das pernas posteriores (metatorácicas), além de serem robustas, diferenciam-se pela presença do “órgão tibial” - estrutura côncava esponjosa no lugar da corbícula - utilizado para armazenar os compostos coletados pela fricção (MICHENER et al., 1978; CRUZ- LANDIM et al., 1965; DRESSLER,

1982; ELTZ, 1999). Mais detalhes do processo de coleta de compostos podem ser consultados nos trabalhos de Michener et al. (1978) e Vogel (1966). Mesmo tendo dúvidas sobre o processo de utilização das fragrâncias pelos machos, sabe-se que as fragrâncias são utilizadas no comportamento de corte e demarcação de território (ex. ELTZ et al., 1999; CAMERON, 2004; ELTZ, ROUBIK & LUNAU, 2005). Uma das hipóteses sugeridas é a apresentação da variabilidade de fragrâncias coletadas à fêmea; o fato dos machos não perderem as fragrâncias ao longo da vida, pode representar muito sua capacidade de voo e habilidade em obtê-los, sendo assim, ter maior variabilidade de compostos representaria fortes indícios de “bons genes” e favorecimento na seleção sexual (ELTZ et al., 1999).

Conhecida como as abelhas-das-orquídeas, essas abelhas possuem forte interação com as espécies da família Orchidaceae e apresentam um dos mais interessantes sistemas polinizador-planta conhecidos. (ACKERMAN, 1983. BAWA, 1990). O comportamento de visitação sobre as orquídeas é relatado por Darwin (1862) em seu livro “The various contrivances by which orchids are fertilized by insects”, embora não houvesse entendimento da função (apud CAMERON, 2004). Crugüer (1864), sendo um dos primeiros a estudar de fato esse comportamento, concluiu que os machos visitavam as flores de orquídeas para obtenção de alimento (KIMSEY, 1980), porém somente no trabalho de Dodson (1969), que houve maior clareza da função, onde foi compreendido que a visita das abelhas Euglossini nas orquídeas está relacionada a uma série de compostos aromáticos produzido pelas flores.

A descoberta da atratividade dos machos por compostos químicos, criou a possibilidade de utilização de fragrâncias sintéticas, similares às encontradas na natureza, em armadilhas de captura (DODSON, 1969). Tal feito, viabilizou o aumento de estudos realizados sobre as Euglossini (ROUBIK & HANSON, 2004), dando um salto no conhecimento sobre ecologia (ver: RICKLEFS et al., 1969), taxonomia (DRESSLER, 1978), biologia (ver: DRESSLER, 1982), comportamento (ver: KINSEY, 1980), fisiologia (ver: CASEY, 1985) diversidade do grupo (BRAGA, 1976; JANZEN, 1982).

Por anos, as Euglossini têm despertado o interesse dos cientistas e naturalistas como objeto de estudo. Além do fato dos machos serem principais polinizadores, eles são coletores especializados de compostos aromáticos de diversas fontes na natureza (DRESSLER, 1982; ROUBIK & HANSON, 2004). Várias famílias de plantas com distribuição neotropical produzem compostos aromáticos em glândulas florais, dessa forma, asseguram que os serviços de polinização sejam realizados. À estas plantas, diz possuidoras da síndrome de polinização por Euglossini (DRESSLER 1968).

Os machos também podem obter os compostos aromáticos em fontes não florais (DRESSLER, 1982). Observando, de modo não induzido, eles conseguem coletar em cascas de árvores (ver: por WHITTEN et al., 1989), troncos em decomposição (WHITTEN, 1993) ou em cogumelos terrestres (CAPPELLARI & HARTER-MARQUES, 2010). Tais observações trazem questões importantes quanto a evolução do comportamento coletor dessas abelhas e do sistema de polinização, pois existe a possibilidade de as orquídeas terem simplesmente aproveitado o hábito coletor já existente nas abelhas, uma vez que os compostos de fontes não florais permanecem disponíveis por muito mais tempo na natureza (WHITTEN, 1993).

Usaremos como modelo de estudo neste trabalho a espécie *Eufriesea violacea* (Blanchard, 1840), que é considerada endêmica da Mata Atlântica (NEMÉSIO & SILVEIRA, 2007) e bastante associada com a Mata Atlântica de Interior, no sul e sudeste do Brasil (e.g. SYDNEY et al., 2010). Da mesma forma que as demais espécies, *E. violacea* apresenta sazonalidade bem definida, com atividade restrita à estação quente/ chuvosa (WITTMANN et al., 1989). Essa espécie tem se mostrado muito sensível a perturbações no em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, reduzindo fortemente sua abundância com o aumento da fragmentação nesses ambientes (GIANGARELLI, 2009). Não se tem informações, porém, de estruturação na variação morfológica de indivíduos da espécie em resposta ao processo de fragmentação.

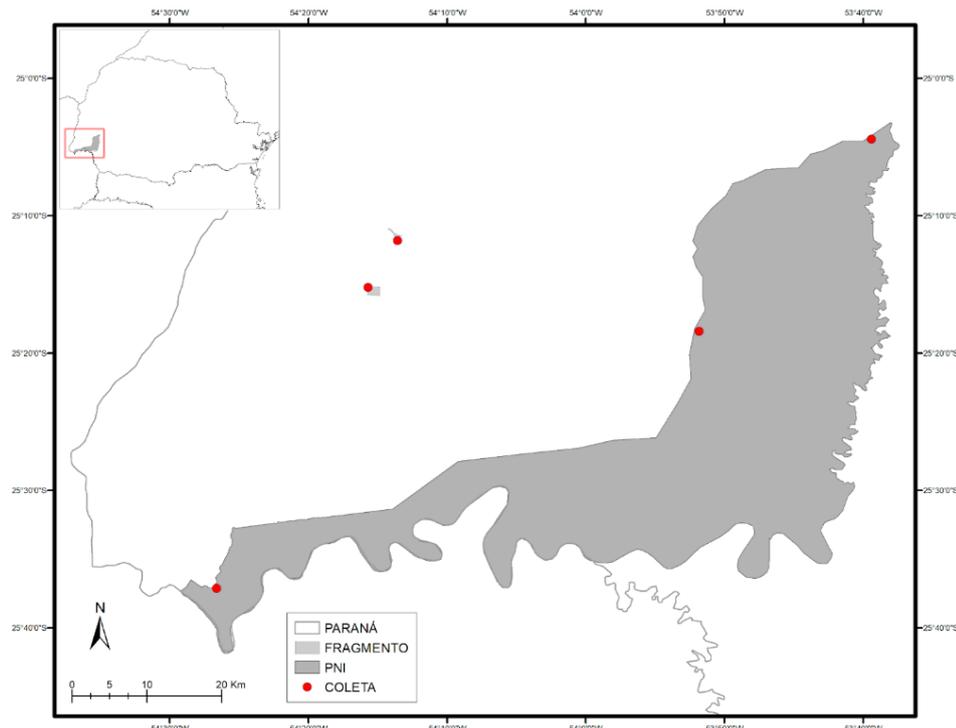
Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a variação da forma das asas do macho de *E. violacea* coletados no Parque Nacional do Iguaçu (i.e. floresta contínua e estruturalmente mais complexa) e em fragmentos florestais (i.e. floresta mais fragmentada e estruturalmente menos complexa). Para avaliar a hipótese de que a forma da asa varia em resposta à fragmentação, testamos duas predições: (i) a circularidade das asas será maior nos indivíduos coletados no Parque Nacional do Iguaçu; como não é possível considerar a asa isoladamente do tamanho do corpo dos indivíduos (DANFORTH, 1989), testamos ainda se (ii) a inclinação da reta na relação alométrica entre tamanho dos indivíduos - estimado pela distância intertegular (e.g. DE PAULA, 2014) - e circularidade da asa será maior no caso de indivíduos coletados no Parque.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 LOCAL DO ESTUDO E COLETA

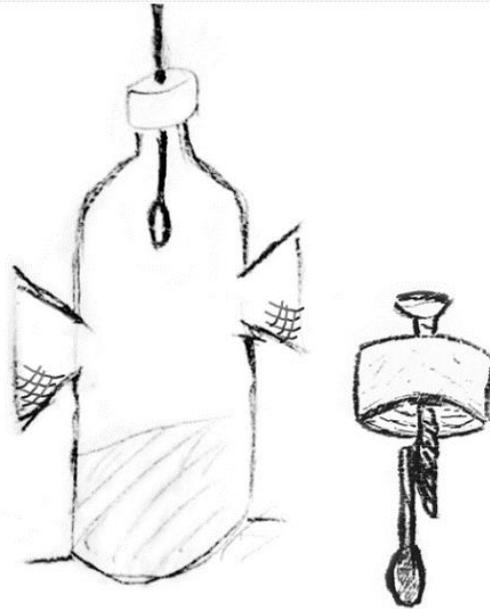
As coletas foram realizadas no extremo oeste do estado do Paraná, entre novembro de 2013 e maio de 2014, em dois contextos florestais distintos: um de floresta contínua, no Parque Nacional do Iguaçu (Parque) e outro de pequenos fragmentos florestais (fragmentos) (Imagem 1). No Parque Nacional do Iguaçu (PNI) os pontos de coletas foram próximos às cidades de Céu Azul ( $25^{\circ}4'9.4''$  S,  $53^{\circ}39'35.5''$  W), Matelândia ( $25^{\circ}18'32.9''$  S,  $53^{\circ}52'6.8''$  W) e Foz do Iguaçu ( $25^{\circ}37'31.9''$  S,  $54^{\circ}27'12.9''$  W); e nos fragmentos, próximo às cidades de São Miguel do Iguaçu ( $25^{\circ}15'12.8''$  S,  $54^{\circ}15'44''$ W) e Itaipulândia ( $25^{\circ}11'47.6''$  S,  $54^{\circ}13'37.9''$  W) (HIRSCHIFELD & FARIA JUNIOR, 2016). O Parque Nacional do Iguaçu é o maior fragmento florestal de Mata Atlântica de Interior do Brasil, com uma área de aproximadamente 185.000 hectares, constituindo-se como remanescente central na dinâmica das espécies da região (RIBEIRO et al., 2009; PAVIOLO et al., 2016). Assumimos então que os espécimes coletados no Parque estariam sujeitos a um contexto onde as dinâmicas de acesso e coleta de recursos seriam mais próximas daquelas de ambientes florestais contínuos, enquanto, nos fragmentos, os indivíduos estariam sujeitos a recursos distribuídos de forma mais esparsa.

**Imagem 1** – Mapa da região dos pontos de coletas no Oeste do Paraná



Os machos de *Eufriesea violacea* foram coletados em armadilhas confeccionadas a partir de material reciclável transparente, utilizando principalmente garrafas PET de 500ml (Imagem 2). A fim de facilitar o acesso ao interior das armadilhas, foram realizadas aberturas laterais nas garrafas, encaixando gargalos com pequenas ranhuras (de outras garrafas). Deste modo, o atrito entre as pernas e o material plástico da armadilha é aumentado, contribuindo assim, à eficácia no ingresso através da abertura. Na parte superior da garrafa transpassamos um parafuso na tampa e na parte transpassada fixamos uma haste plástica flexível contendo algodão embebido em uma das seguintes substâncias atrativas: acetato de benzila, beta-ionona, cinamato de metila, eucaliptol, eugenol, vanilina. O modelo das armadilhas segue aquelas usadas, por exemplo, por Coswosk et al. (2018).

**Imagem 2** – Ilustração da armadilha de captura utilizada

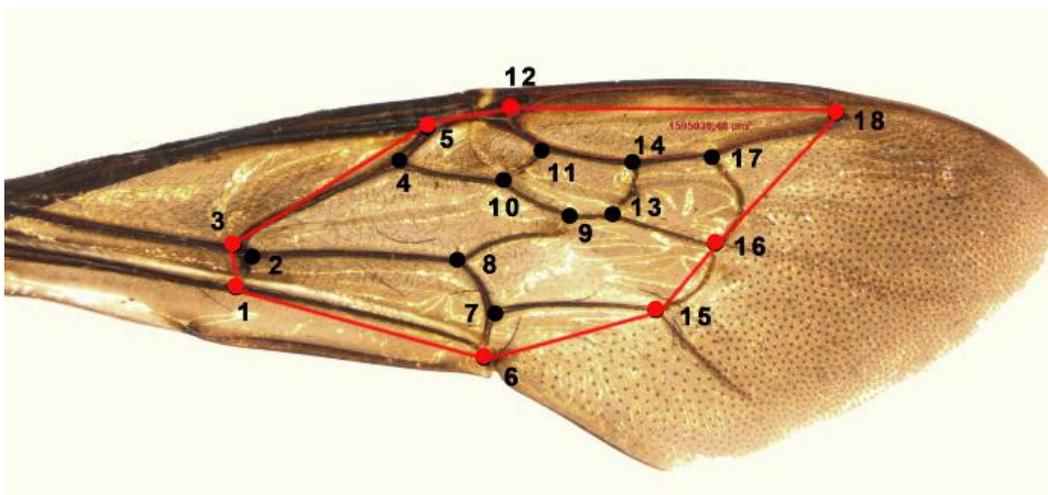


### 2.1.1 Obtenção dos Dados

Os dados morfométricos foram obtidos através de imagens disponíveis no banco de dados do Laboratório de Biodiversidade – Seção Entomologia (LABISE- UNILA), seguindo as etapas de remoção, montagem e fotografia das asas anteriores do lado direito de cada indivíduo. As fotografias foram realizadas com estereomicroscópio modelo: Discovery. V12 – AxioVision. Tendo como base os marcos anatômicos definidos por Hirschfeld et al. (2021), traçamos um polígono construído a partir dos marcos mais externos (1, 6, 15, 16, 18, 12, 5, 3) para obter uma medida do índice de circularidade de tal polígono,

que usamos para aproximar a circularidade da asa (Imagem 3). As asas foram estudadas em um contexto mais próxima da morfometria tradicional, por envolver o cálculo do índice de circularidade de um polígono, sem preservar a informação geométrica entre todos os pontos (ver ROHLF & MARCUS, 1993). Usamos aqui a circularidade como medida de alongamento das asas; a circularidade implementa uma função da área da asa pelo seu perímetro, onde valores mais altos, então, indicariam formas mais próximas a círculos e, assim, mais alongadas (SNELL-ROOD & STECK, 2015). A circularidade foi calculada pela fórmula  $4\pi$  (área/perímetro<sup>2</sup>), conforme implementado no programa ImageJ (RASBAND, 1997-2018). As medidas de distância intertegular utilizadas, foram obtidas no banco de dados disponível no LABISE, sendo elas tomadas por fotografia do tórax de cada indivíduo.

**Imagem 3** – Asa anterior direita com evidência dos marcos anatômicos (pontos numerados) e polígono gerado para representação da circularidade (em vermelho).



*Fonte: Banco de dados - LABISE - UNILA*

### 2.1.1.1 Análise dos dados

Erros de mensuração são ubíquos no contexto dos trabalhos morfométricos (e.g. ARNQVIST & MÅRTENSSON, 1998) e adotamos dois procedimentos para reduzir o risco de vieses nas análises: (i) como a magnitude do erro de medida pode ser suavizada pelo cálculo da média de medidas repetidas (ARNQVIST & MÅRTENSSON, 1998; FRUCIANO, 2016), repetiu-se a medida do índice de circularidade de cada asa por três vezes; (ii) implementaram-se análises de regressão linear simples entre as medidas repetidas de cada asa e, através de análise dos resíduos, inspecionaram-se eventuais

estruturas no erro (p. ex. se a imprecisão - diferença entre medidas repetidas - seria maior em asas mais ou menos circulares).

As médias das três medidas repetidas foram então inspecionadas quanto à existência de *outliers*, a normalidade dos dados coletados em cada nível de tratamento (fragmentos e Parque) foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade pelo teste F de Fischer (ZAR, 1996). Comprovada a normalidade e a homogeneidade de variâncias, os valores de circularidade das asas de indivíduos coletados nos fragmentos e no Parque Nacional do Iguaçu foram então comparados pelo teste t de Student (ZAR, 1996), em ambiente R, versão 4.0.0 (R CORE TEAM, 2020). Os gráficos também foram gerados em ambiente R, com o auxílio do pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016).

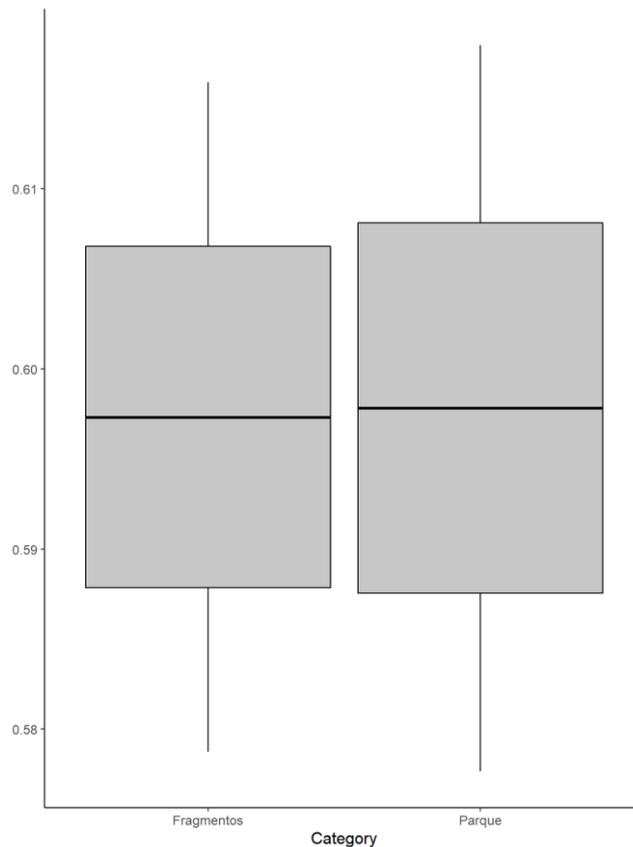
Para estudar as relações alométricas entre o tamanho do corpo dos indivíduos, estimado pela distância intertegular (e.g. DE PAULA, 2014), e a circularidade das asas, utilizamos a técnica do eixo principal estandardizado (*standardised major axis*, SMA; WARTON et al., 2006). A escolha pela técnica passa pelo fato de que em uma relação alométrica não se está interessado na previsão de uma variável pela outra, mas sim em estimar a linha que representa o melhor ajuste (WARTON et al., 2006). Escolhemos o SMA também por ser um método adequado para a estimativa de relações entre variáveis que não são medidas em escalas comparáveis (WARTON et al., 2006), aqui, no caso, uma medida de tamanho, em milímetros, e um índice de variação de forma.

Estimamos também a inclinação das retas ajustadas para cada nível de tratamento (fragmento/ Parque) e comparamos se a inclinação era a mesma (WARTON & WEBER, 2002). As análises foram implementadas em ambiente R através do pacote SMATR (WARTON et al., 2011).

### 3 RESULTADOS

Mediram-se, ao todo, as asas de 214 indivíduos, sendo 114 asas daqueles coletados nos fragmentos e 100 daqueles coletados no Parque Nacional do Iguaçu. Percebe-se da análise da Figura 4 que os índices de circularidade provenientes de asas de indivíduos dos dois tipos de ambiente são muito próximos (Fragmentos:  $0,5973 \pm 0,009$ ; Parque:  $0,5978 \pm 0,010$ ), de forma que não encontramos diferença estatisticamente significativa quando da comparação desses valores ( $t = 0,36216$ ;  $df = 205$ ;  $p = 0,7176$ ).

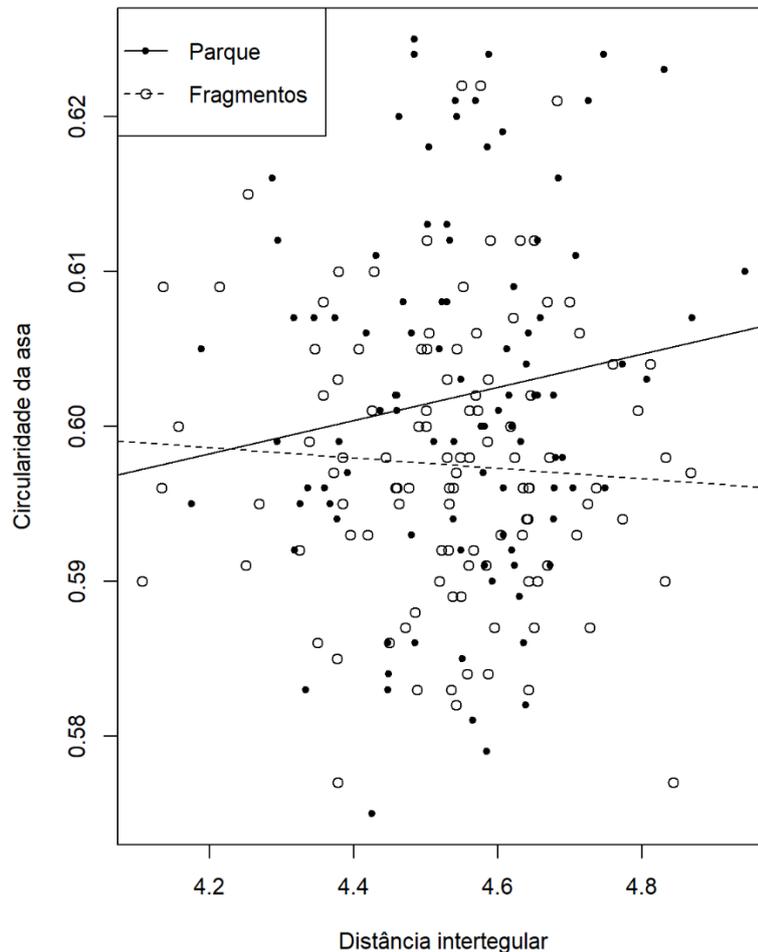
**Imagem 4** – Boxplot do comparativo da distribuição dos índices de circularidade de asas oriundas do parque e fragmento.



Se não encontramos qualquer estruturação na análise dos valores “puros” de circularidade, quando analisamos, entretanto, a variação da circularidade em um contexto de alometria com o tamanho de corpo, encontramos um resultado bastante interessante (Imagem 5). Há um comportamento distinto na relação entre as variáveis nos dois contextos avaliados: enquanto a relação é negativa para os indivíduos dos fragmentos (i.e., asas menos circulares em indivíduos maiores), é positiva para os indivíduos coletados

no Parque (i.e., asas mais circulares em indivíduos maiores). E muito embora as retas sejam muito pouco inclinadas, o que mostra expoentes alométricos baixos (Fragmentos: -0,058; Parque: 0,079), e por mais que as retas estejam associadas com modelos muito mal ajustados (valores de  $r^2 < 0,10$ ), não há sobreposição nos intervalos de confiança da inclinação de cada reta (Fragmentos: -0,070 – -0,048; Parque: 0,065 – 0,097), o que é notável. Há ainda suporte estatístico para dizer que as duas retas têm inclinações diferentes (LRT = 4,891; df = 1; p = 0,026).

**Imagem 5** – Relação Alométrica entre circularidade e distancia intertegular nos indivíduos oriundos do parque e dos fragmentos.



## 4 DISCUSSÃO

Se não encontramos suporte direto para asas mais circulares (i.e. menos alongadas) em indivíduos coletados no Parque Nacional do Iguaçu, os resultados trazem questões importantes quanto à variação da forma da asa no contexto da fragmentação quando a estrutura é considerada conjuntamente com o tamanho do corpo, no contexto de relações alométricas. Há evidência de que a relação entre tamanho de corpo e circularidade da asa se dá de forma diferente nos dois ambientes, o que sugere a existência de contextos ecológicos/ seletivos distintos. E parece bastante razoável considerar a variação da asa integrada à variação do tamanho do corpo, afinal há um componente alométrico intrínseco à evolução das asas (DANFORTH, 1989).

Evidências de variação estruturada em atributos morfológicos em resposta à fragmentação vêm sendo apresentadas para grupos com biologies distintas (ROFF, 1990; BERWAERTS et al., 1997; HANFLING et al., 2004; BAI et al., 2016; TÜZÜN et al., 2017; VILLALOBOS-JIMÉNEZ & HASSALL, 2019), incluindo as próprias abelhas-das-orquídeas (RIBEIRO et al., 2019; BRITO et al., 2021). No caso específico das asas, a variação é considerada tanto em um contexto de diferença geral da forma, i.e. sem uma direção específica (e.g. TAYLOR & MERRIAM, 1995; DELLICOUR et al., 2017) mas também em contextos de testes associados a formas particulares, e.g. asas mais ou menos alongadas (e.g. MURÚA et al., 2011).

No caso dos Hymenoptera como um todo, quando se considera a morfologia das asas em um contexto alométrico, tamanhos maiores de corpo estão geralmente associados a asas mais alongadas e estreitas, enquanto tamanhos menores se associam a asas mais globulares (DANFORTH, 1989). Há estudos que suportam tal hipótese, como o de Murúa et al. (2011) que sugeriram, em um estudo da variação das asas de *Bombus dahlbomii* Guérin-Méneville, 1835 (Apidae) em uma paisagem fragmentada, que haveria uma maior aptidão de fenótipos associados a asas maiores por conta de permitir viagens de forrageio mais longas em ambientes em que os recursos eram escassos. Uma pressão parecida parece ser relevante no que diz respeito à variação das asas dos Euglossini, tanto em abordagens inter (BRITO et al., 2021) quanto intraespecíficas (PINTO et al., 2015), em que a mudança do uso de terra/ fragmentação parecia favorecer indivíduos com asas mais alongadas.

O entendimento de tais efeitos passa diretamente por um aspecto distintivo da biologia do grupo, onde os machos buscam ativamente compostos aromáticos, voando por inúmeras fontes para realizar as coletas (ELTZ et al., 1999). Os machos demonstram

alta fidelidade aos locais de forrageamento, e acabam mudando seus hábitos no caso de alterações na disponibilidade de sítios de forrageamento (ACKERMAN et al., 1982), o que é bastante esperado quando se pensa no processo de fragmentação.

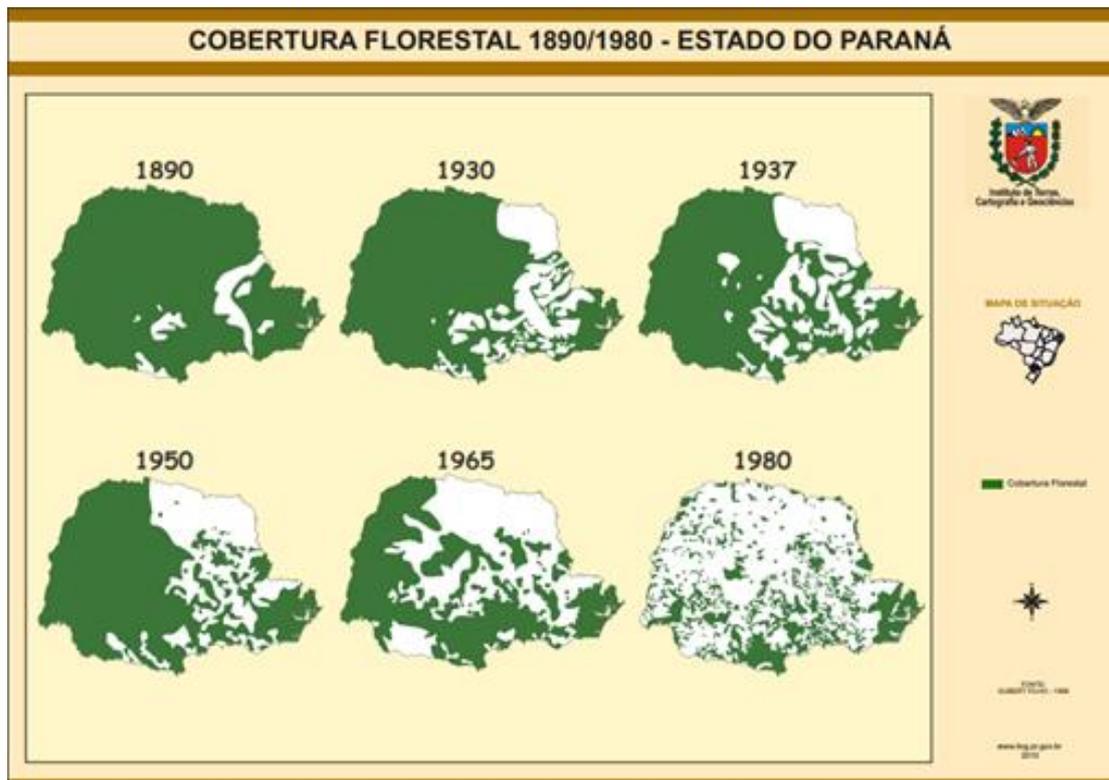
Por outro lado, contextos ambientais onde os recursos estejam mais concentrados, como no caso, por exemplo, de florestas mais estruturadas, se, por um lado é razoável considerar que os voos sejam mais curtos, também é razoável considerar que o voo se dá em um ambiente estruturalmente mais complexo. Desta forma, haveria uma pressão em favor de fenótipos associados à maior manobrabilidade, o que passa por asas mais circulares (WOOTTON, 1992; DANFORTH, 1989).

Neste contexto, então, a diferença na relação entre tamanho e forma das asas nos dois ambientes fica ainda mais interessante: (i) a relação negativa entre tamanho e circularidade nas asas dos indivíduos coletados nos fragmentos pode estar relacionada à seleção de asas mais alongadas (i.e. menos circulares) em indivíduos maiores, condição associada a voos mais longos (KRISHNA et al., 2020); (ii) a relação positiva entre as variáveis nos indivíduos da floresta pode estar relacionada à seleção de asas mais circulares, condição associada à manobrabilidade e voos mais controlados (SNELL-ROOD & STECK, 2015).

Não podemos deixar de considerar, entretanto, que a diferença entre as inclinações é pequena, ainda que não haja sobreposição dos intervalos de confiança, e o ajuste entre as variáveis é ruim. Entendemos ser possível entender o fato sob três aspectos: (i) a natureza multifatorial das relações alométricas: os mecanismos de evolução da morfologia de voo são complexos (VAN DYCK & MATTHYSEN, 1999), relacionados a várias estruturas (DANFORTH, 1989), de forma que é difícil imaginar uma relação muito forte entre duas variáveis apenas; (ii) a escala temporal do efeito da fragmentação: quando se considera que a região oeste do Paraná era coberta por florestas ainda na década de 1960 (IAT, 2020) (Imagem 6), e que a espécie estudada é univoltina (PERUQUETTI & CAMPOS, 1997; FARIA et al., 2019), o número de gerações da espécie em um contexto de paisagem altamente fragmentada não é elevado, o que pode ter uma importância considerável quando se pensa o contexto seletivo envolvido e pode levar à existência de fenótipos/ecótipos ainda pouco diferenciáveis (ver CHEPTOU et al., 2017); (iii) a possível influência do desenho experimental: as coletas dos indivíduos no Parque Nacional do Iguaçu foram realizadas em áreas próximas à borda e é bastante razoável considerar a possibilidade de atração de machos de fragmentos próximos (e.g. RAMALHO et al., 2013). Em um contexto de assembleias de *Euglossini*, considera-se que a presença de um

estímulo direcional (i.e. a isca aromática) na borda do fragmento pode levar à homogeneização da composição das espécies no local, tendo em vista que tanto aquelas mais associadas ao interior do fragmento, quanto aquelas mais tolerantes a áreas abertas, fossem atraídas à borda pelas essências (COSWOSK et al., 2018). O mesmo entendimento poderia ser entendido aqui, considerando a borda como um local para o qual poderiam convergir tanto os indivíduos de dentro do Parque quanto de fragmentos próximos.

**Imagem 6** – Mapa histórico da cobertura florestal no estado do Paraná 1890/1980.



Fonte: IAT, 2020

Ressaltamos também a importância de apresentar alguma evidência em favor da variação intraespecífica na forma das asas de *Eufriesea violacea*. A espécie vem sendo considerada como bioindicadora no contexto da associação entre a abundância da espécie e o tamanho/ integridade de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, necessitando de grandes áreas florestais para existir (GIANGARELLI et al. 2009). Teríamos também, a partir de agora, informação relacionada a possíveis respostas da espécie à fragmentação em uma outra escala, a da variação morfológica intraespecífica, o que certamente aumenta a possibilidade de estudos tendo a espécie como modelo.

Pensando em outro cenário amostral cabível, refazer o desenho amostral

colocando os pontos de coleta do Parque mais ao centro, poderíamos, mesmo com baixa assertividade, assegurar que indivíduos dos fragmentos não fossem capturados nas armadilhas do Parque, devida longa distância. Com isso, revalidaríamos os resultados, não esperando somente alteração da estruturação já obtida, mas, principalmente, para obter robustez de um desenho amostral bem executado.

## 5 CONCLUSÃO

Não encontramos suporte direto para asas mais circulares (i.e. menos alongadas) em indivíduos coletados no Parque Nacional do Iguaçu. No caso, porém, das alometrias, observamos que as inclinações das retas, i.e. o expoente alométrico, foram diferentes nos dois ambientes: encontramos uma relação positiva entre tamanho e circularidade para os indivíduos coletados no PNI e negativa para os indivíduos coletados nos fragmentos, confirmando a hipótese inicialmente proposta. Interpretamos a diferença considerando a seleção de asas mais circulares no PNI, condição associada à manobrabilidade e voos mais controlados em um ambiente estruturalmente mais complexo, enquanto nos fragmentos haveria a seleção de asas mais alongadas, associadas a voos mais longos em um contexto onde os recursos estão mais esparsamente distribuídos.

## REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, James D. et al. Food-foraging behavior of male Euglossini (Hymenoptera: Apidae): vagabonds or trappliners?. **Biotropica**, p. 241-248, 1982.
- ACKERMAN, James D. On the evidence for a primitively epiphytic habit in orchids. **Systematic botany**, p. 474-477, 1983.
- ACKERMAN, James D.; MONTALVO, Arlee M. Longevity of euglossine bees. **Biotropica**, v. 17, n. 1, p. 79-81, 1985.
- AGUIAR, W.M., & GAGLIANONE, M.C. Comunidade de abelhas Euglossina (Hymenoptera: Apidae) em remanescentes de Mata Estacional Semidecidual sobre Tabuleiro no Estado do Rio de Janeiro. **Neotropical Entomology**, 37: 118-125, 2008.
- ARNQVIST, Göran; MARTENSSON, T. Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. **Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae**, v. 44, n. 1-2, p. 73-96, 1998.
- BAWA, Kamaljit S. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 21, n. 1, p. 399-422, 1990.
- BERWAERTS, Koen et al. Morphological and genetic variation in the speckled wood butterfly (*Pararge aegeria* L.) among differently fragmented landscapes. **Netherlands Journal of Zoology**, v. 48, p. 241, 1997.
- BERWAERTS, Koen; VAN DYCK, Hans. Take-off performance under optimal and suboptimal thermal conditions in the butterfly *Pararge aegeria*. **Oecologia**, v. 141, n. 3, p. 536-545, 2004.
- BOCK, Walter J. Concepts and methods in ecomorphology. **Journal of Biosciences**, v. 19, n. 4, p. 403-413, 1994.
- BRAGA, P.J.S. Atração de abelhas polinizadoras de Orchidaceae com o auxílio de iscas-odores na campina, campinarana e floresta tropical úmida da região de Manaus. **Ciência e Cultura**, v. 28, n. 7, p. 767-773, 1976.
- BRITO, Thaline de Freitas et al. Orchid bees (Apidae, Euglossini) from oil palm plantations in Eastern Amazon have larger but not asymmetrical wings. **Neotropical Entomology**, v. 50, n. 3, p. 388-397, 2021.
- BROCARD, Carlos Rodrigo. Defaunação e fragmentação florestal na Mata Atlântica Subtropical e suas consequências para a regeneração de *Araucaria angustifolia*. **Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Zoologia), Universidade Estadual Paulista**, Rio Claro, p. 135, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/151257>>. Acessado em 01/abr/2022.
- CASEY, T. M., MAY, M. L., & Morgan, K. R. Flight energetics of euglossine bees in relation to morphology and wing stroke frequency. **Journal of Experimental Biology**, v.116, n.1, p. 271-289, 1985.

- CAMERON, S. A. Phylogeny and biology of neotropical orchid bees (Euglossini). **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 49, p. 377 – 404, 2004.
- CAPPELLARI, S. C., & HARTER-MARQUES, B. First report of scent collection by male orchid bees (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) from terrestrial mushrooms. **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 83, n. 3, p. 264-266, 2010.
- COSWOSK, J. A. et al. Responses of euglossine bees (Hymenoptera, Apidae, Euglossina) to an edge-forest gradient in a large Tabuleiro forest remnant in eastern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 47, n. 4, p. 447-456, 2018.
- CIMA, Elizabeth Giron et al. UMA ANÁLISE ESPACIAL DO OESTE DO PARANÁ: CENÁRIOS PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 2, 2021.
- CHEPTOU, Pierre-Olivier et al. Adaptation to fragmentation: evolutionary dynamics driven by human influences. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 372, n. 1712, p. 20160037, 2017.
- CRUGER H. A few notes on the fecundation of orchids and their morphology. **Botanical Journal of the Linnean Society**. London –Bot. v. 8, n. 31, p.127–135, 1864.
- DA CRUZ LANDIM, Carmina et al. Órgão Tibial Dos Machos De Euglossini. Estudo Ao Microscópio Óptico E Eletrônico. **Revista Brasileira Biologia**, v. 25, n. 4, p. 323, 1965.
- DANFORTH, Bryan N. The evolution of hymenopteran wings: the importance of size. **Journal of Zoology**, v. 218, n. 2, p. 247-276, 1989.
- DARRAULT, R.O.; MEDEIROS, P. C. R.; LOCATELLI, E. LOPES, A. V.; MACHADO, I. C.; SCHLINDWEIN, C. Abelhas Euglossini. In: PORTO, K. C.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; TABARELLI, M. (Org.). **Diversidade biológica e conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006. p. 239-253.
- DE PAULA, Gabriel Antonio Rezende de. Assembleias de abelhas sob a perspectiva funcional. **Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, p. 138, 2014. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36460>>. Acessado em 01/abr/2022.
- DELLICOUR, Simon et al. Distribution and predictors of wing shape and size variability in three sister species of solitary bees. **PloS One**, v. 12, n. 3, p. e0173109, 2017.
- 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. 1243-49, 1969.
- DRESSLER, R. L. Pollination by Euglossine Bees. **Evolution**, v.22, n. 1, p. 202–210, 1968.
- DRESSLER, R. L. An infrageneric classification of Euglossa, with notes on some features of special taxonomic importance (Hymenoptera; Apidae). **Revista de Biologia Tropical** 26: 187–198, 1978.
- DRESSLER, R. L. Biology of the orchid bees (Euglossini). **Annual Review of Ecology**

**and Systematics**, v. 13, p. 373–394, 1982.

DUDLEY, Robert. Biomechanics of flight in neotropical butterflies: morphometrics and kinematics. **Journal of Experimental Biology**, v. 150, n. 1, p. 37-53, 1990.

ELTZ, T.; WHITTEN, W. M.; ROUBIK, D. W.; LINSENMAYER, K. E. Fragrance collection, storage, and accumulation by individual male orchid bees. **Journal of Chemical Ecology**, Atlanta, v. 25, p. 157–176, 1999.

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, n. 1, p. 149-156, 2005.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 487–515, 2003.

FARIA, Luiz RR et al. News from the west: the orchid bees from Parque Nacional do Iguaçu, Paraná, Brazil (Hymenoptera, Apidae, Euglossina). **Biota Neotropica**, v. 19, 2019.

FARIA, L. R. R.; MELO, G. A. R. Orchid bees (Euglossini). In: STARR, C. (ed.). **Encyclopedia of Social Insects**. Springer Nature Switzerland AG, 2020.

FERNANDEZ-JURICIC, Esteban et al. Species with greater aerial maneuverability have higher frequency of collisions with aircraft: a comparative study. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 17, 2018.

FRANCOY, Tiago Mauricio; DE FARIA FRANCO, Fernando; ROUBIK, David W. Integrated landmark and outline-based morphometric methods efficiently distinguish species of *Euglossa* (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). **Apidologie**, v. 43, n. 6, p. 609-617, 2012.

FRUCIANO, Carmelo. Measurement error in geometric morphometrics. **Development Genes and Evolution**, v. 226, n. 3, p. 139-158, 2016.

GAROFALO, Carlos Alberto. Social structure of *Euglossa cordata* nests (Hymenoptera: Apidae: Euglossini). **Entomologia Generalis**, p. 77-83, 1985.

GARÓFALO, Carlos Alberto; MARTINS, Celso Feitosa; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. The Brazilian solitary bee species caught in trap nests. **Solitary Bees: Conservation, Rearing and Management for Pollination**. Fortaleza, Imprensa Universitária, p. 77-84, 2004.

GIANGARELLI, Douglas C. et al. *Eufriesea violacea* (Blanchard)(Hymenoptera: Apidae): an orchid bee apparently sensitive to size reduction in forest patches. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 5, p. 610-615, 2009.

GIBBS, Melanie; VAN DYCK, Hans. Butterfly flight activity affects reproductive performance and longevity relative to landscape structure. **Oecologia**, v. 163, n. 2, p. 341-350, 2010.

GRISWOLD, Terry; HERNDON, James D.; GONZALEZ, Victor H. First record of the orchid bee genus *Eufriesea* Cockerell (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) in the United States. **Zootaxa**, v. 3957, n. 3, p. 342-346, 2015.

HADDAD, M. et al. Holt. & Cook, WM. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2. 2015.

HÄNFLING, Bernd; DURKA, W.; BRANDL, R. Impact of habitat fragmentation on genetic population structure of roach, *Rutilus rutilus*, in a riparian ecosystem. **Conservation Genetics**, v. 5, n. 2, p. 247-257, 2004.

HARRISON, Richard G. Dispersal polymorphisms in insects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, n. 1, p. 95-118, 1980.

HIRSCHFELD, María Noel C.; FARIA JUNIOR, Luiz Roberto Ribeiro. Efectos de la fragmentación en la morfología de los organismos: variación en el tamaño de las alas de *Eufrieseaviolacea* (Blanchard) en un paisaje altamente fragmentada del oeste de Paraná. **V Anais EICTI**, UNILA, Foz do Iguaçu, p. 409, 2016. Disponível em: [https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/737/V%20Anais\\_EICTI%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/737/V%20Anais_EICTI%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 24/mar/2022.

HIRSCHFELD, Maria Noel C.; MAIA, Artur Campos D.; FARIA, Luiz RR. The key is in variation: Spatial-environmental structuring of the morphological variation of a widespread Neotropical bee (*Eulaema nigrita*). **Zoologischer Anzeiger**, v. 293, p. 138-144, 2021.

IAT. **Cobertura florestal 1890/1980 - Estado Do Paraná** [.pdf]. 2020. Consultado em: 01/04/2022. Website: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-04/cobertura\\_florestal\\_1890\\_1980.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/cobertura_florestal_1890_1980.pdf)

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

JANZEN, Daniel H. et al. Seasonal and site variation in Costa Rican euglossine bees at chemical baits in lowland deciduous and evergreen forests. **Ecology**, v. 63, n. 1, p. 66-74, 1982.

KIMSEY, L. S. The behaviour of male orchid bees (Apidae, Hymenoptera, Insecta) and the question of leks. **Animal Behaviour** v. 28, p. 996-1004, 1980.

KRISHNA, Swathi et al. Wing design in flies: properties and aerodynamic function. **Insects**, v. 11, n. 8, p. 466, 2020.

LIMA, Jandir Ferrera de et al. O uso das terras no sul do Brasil: uma análise a partir de indicadores de localização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 4, p. 677-694, 2006.

MARGATTO, Cleiton et al. Orchid bees (Hymenoptera, Apidae, Euglossini) are seasonal in Seasonal Semideciduous Forest fragments, southern Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 59, 2019.

MELO, Gabriel AR; GONÇALVES, Rodrigo B. Higher-level bee classifications (Hymenoptera, Apoidea, Apidae sensu lato). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 1, p. 153-159, 2005.

MICHENER, Charles D.; WINSTON, Mark L.; JANDER, Rudolf. Pollen manipulation and related activities and structures in bees of the family Apidae. **The University of Kansas**

**Science Bulletin**, v. 51, n. 19, p. 575, 1978.

MICHENER, C. D. **The bees of the word**. Baltimore: John Houpkins University Press, 2007.

MINCKLEY, Robert L.; REYES, Stephen G. Capture of the orchid bee, *Eulaema polychroma* (Friese)(Apidae: Euglossini) in Arizona, with notes on northern distributions of other Mesoamerican bees. **Journal of the Kansas Entomological Society**, p. 102-104, 1996.

MORATO, E. F. Abundância e riqueza de machos de Euglossini (Hymenoptera: Apidae) em mata de terra firme e áreas de derrubada, nas vizinhanças de Manaus (Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 10, n. 1, p. 95-105, 1994.

Moure, J. S.; Melo, G. A. R. & Faria Jr., L. R. R. Euglossini Latreille, 1802. In Moure, J. S., Urban, D. & Melo, G. A. R. (Orgs). **Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region** - online version, 2012. Disponível em <<http://www.moure.cria.org.br/catalogue>>. Acessado 16/mar/2022

MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

MURUA, Maureen M; GREZ, Audrey A; SIMONETTI, Javier A. Changes in wing length in the pollinator *Bombus dahlbomii* occurring with the fragmentation of the Maulino forest, Chile. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago, v. 38, n. 3, p. 391-396, Dec. 2011.

NEMÉSIO, André; SILVEIRA, Fernando A. Diversity and distribution of orchid bees (Hymenoptera: Apidae) with a revised checklist of species. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 6, p. 874-888, 2007.

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

NEMÉSIO, André; SILVEIRA, Fernando A. Forest fragments with larger core areas better sustain diverse orchid bee faunas (Hymenoptera: Apidae: Euglossina). **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 555-561, 2010.

PEARSON, D. L.; DRESSLER, R. L. Two-year study of male orchid bee (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) attraction to chemical baits in lowland south-eastern Perú. **Journal of Tropical Ecology**, Winchelsea, v. 1, p. 37-54, 1985.

PERUQUETTI, Rui Carlos et al. Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, p. 101-118, 1999.

POWELL, A. Harriett; POWELL, George VN. Population dynamics of male euglossine bees in Amazonian forest fragments. **Biotropica**, p. 176-179, 1987.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2020. URL <https://www.R-project.org/>.

RAMALHO, Mauro et al. Spatial distribution of orchid bees in a rainforest/rubber agro-

forest mosaic: habitat use or connectivity. **Apidologie**, v. 44, n. 4, p. 385-403, 2013.

RAMIREZ, Santiago R. et al. Phylogeny, diversification patterns and historical biogeography of euglossine orchid bees (Hymenoptera: Apidae). **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 100, n. 3, p. 552-572, 2010.

RANDS, Michael RW et al. Biodiversity conservation: challenges beyond 2010. **Science**, v. 329, n. 5997, p. 1298-1303, 2010.

RASBAND, Wayne S. Imagej, us national institutes of health, bethesda, maryland, usa. <http://imagej.nih.gov/ij/>, 2011.

RAVI, Sridhar et al. Bumblebees perceive the spatial layout of their environment in relation to their body size and form to minimize inflight collisions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 49, p. 31494-31499, 2020.

RIBEIRO, Milton Cezar et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO, Mariléa et al. Morphometric changes in three species of Euglossini (Hymenoptera: Apidae) in response to landscape structure. **Sociobiology**, v. 66, n. 2, p. 339-347, 2019.

RICKLEFS, Robert E.; ADAMS, Ralph M.; DRESSLER, Robert L. Species diversity of Euglossa in Panama. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 713-716, 1969.

RIES, Leslie et al. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 491-522, 2004.

ROHLF, F. James; MARCUS, Leslie F. A revolution morphometrics. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 8, n. 4, p. 129-132, 1993.

ROFF, D. A. Selection for changes in the incidence of wing dimorphism in *Gryllus firmus*. **Heredity**, v. 65, n. 2, p. 163-168, 1990.

ROUBIK, D.W.; HANSON, P.E. **Abejas de Orquídeas de la América Tropical: Biología y Guía de Campo**. Editorial INBio – Smithsonian, p. 370, 2004.

SAUNDERS, Denis A.; HOBBS, Richard J.; MARGULES, Chris R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v. 5, n. 1, p. 18-32, 1991.

SCHULTZ, Ted R.; ENGEL, Michael S.; ASCHIER, John S. Evidence for the origin of eusociality in the corbiculate bees (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, p. 10-16, 2001.

SILVEIRA, Fernando A.; MELO, Gabriel AR; ALMEIDA, Eduardo AB. **Abelhas Brasileiras: Sistemática e Identificação**. Fundação Araucária, Belo Horizonte, 2002.

SNELL-ROOD, Emilie C.; STECK, Meredith. Experience drives the development of

- movement-cognition correlations in a butterfly. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 3, p. 21, 2015.
- SYDNEY, Nicolle V.; GONÇALVES, Rodrigo B.; FARIA, Luiz RR. Padrões espaciais na distribuição de abelhas Euglossina (Hymenoptera, Apidae) da região Neotropical. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 50, n. 43, p. 667-679, 2010.
- PAVILOLO, Agustin et al. A biodiversity hotspot losing its top predator: The challenge of jaguar conservation in the Atlantic Forest of South America. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2016.
- PERUQUETTI, Rui Carlos; CAMPOS, Lúcio Antônio de Oliveira. Aspectos da biologia de *Euplusia violacea* (Blanchard)(Hymenoptera, Apidae, Euglossini). **Revista brasileira de Zoologia**, v. 14, n. 1, p. 91-97, 1997
- PINTO, Nelson Silva et al. The size but not the symmetry of the wings of *Eulaema nigrata* Lepelletier (Apidae: Euglossini) is affected by human-disturbed landscapes in the Brazilian Cerrado Savanna. **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 5, p. 439-447, 2015.
- POKORNY, Tamara et al. Dispersal ability of male orchid bees and direct evidence for long-range flights. **Apidologie**, v. 46, n. 2, p. 224-237, 2015.
- TAYLOR, Philip D.; MERRIAM, Gray. Wing morphology of a forest damselfly is related to landscape structure. **Oikos**, p. 43-48, 1995.
- TEIXIDO, Alberto L. et al. Major biases and knowledge gaps on fragmentation research in Brazil: Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 251, p. 108749, 2020.
- TONHASCA JR, Athayde; ALBUQUERQUE, Gilberto S.; BLACKMER, Jacquelyn L. Dispersal of euglossine bees between fragments of the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, n. 1, p. 99-102, 2003.
- TÜZÜN, Nedim; OP DE BEECK, Lin; STOKS, Robby. Sexual selection reinforces a higher flight endurance in urban damselflies. **Evolutionary Applications**, v. 10, n. 7, p. 694-703, 2017.
- VAN DYCK, Hans; MATTHYSEN, Erik. Habitat fragmentation and insect flight: a changing 'design' in a changing landscape?. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 14, n. 5, p. 172-174, 1999.
- VILLALOBOS-JIMÉNEZ, Giovanna; HASSALL, Christopher. Wing shape patterns among urban, suburban, and rural populations of *Ischnura elegans* (Odonata: Coenagrionidae). **International Journal of Odonatology**, v. 22, n. 1, p. 37-49, 2019.
- VOGEL, Stefan. Parfümsammelnde bienen als bestäuber von orchidaceen und Gloxinia. **Österreichische Botanische Zeitschrift**, v. 113, n. 3/4, p. 302-361, 1966.
- WARTON, David I.; WEBER, Neville C. Common slope tests for bivariate errors-in-variables models. **Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences**, v. 44, n. 2, p. 161-174, 2002.
- WARTON, David I. et al. Bivariate line-fitting methods for allometry. **Biological Reviews**,

v. 81, n. 2, p. 259-291, 2006.

WARTON, David I. et al. smatr 3-an R package for estimation and inference about allometric lines. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 2, p. 257-259, 2011.

WHITTEN, W. Mark; YOUNG, Allen M.; WILLIAMS, Norris H. Function of glandular secretions in fragrance collection by male euglossine bees (Apidae: Euglossini). **Journal of Chemical Ecology**, v. 15, n. 4, p. 1285-1295, 1989.

WHITTEN, W. Mark; YOUNG, Allen M.; STERN, David L. Nonfloral sources of chemicals that attract male euglossine bees (Apidae: Euglossini). **Journal of Chemical Ecology**, v. 19, n. 12, p. 3017-3027, 1993.

WICKHAM, Hadley. **GGPLOT2: Elegant Graphics for Data Analysis**. springer, 2016.

WITTMANN, Dieter; HOFFMANN, Magali; SCHOLZ, Eckart. Southern distributional limits of euglossine bees in Brazil linked to habitats of the Atlantic-and Subtropical Rain Forest (Hymenoptera: Apidae: Euglossini). **Entomologia Generalis**, p. 53-60, 1988.

WITTMANN, Dieter et al. Seasonality and seasonal changes in preferences for scent baits in *Euplusia violacea* in Rio Grande do Sul/Brazil (Hymenoptera: Apidae: Euglossini). **Entomologia Generalis**, p. 217-221, 1989.

WOOTTON, Robin J. Functional morphology of insect wings. **Annual Review of Entomology**, v. 37, n. 1, p. 113-140, 1992.

ZAMBRANO, Jenny; SALGUERO-GÓMEZ, Roberto. Forest fragmentation alters the population dynamics of a late-successional tropical tree. **Biotropica**, v. 46, n. 5, p. 556-564, 2014.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 3rd Edition, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River. p. 662, 1996.