



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LUIZ FERNANDO FERREIRA POL

**“EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA FENOLOGIA
DE *FICUS ADHATODIFOLIA* SCHOTT EX SPRENG. E NA
INTERAÇÃO COM VESPAS”**



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



m e s t r a d o
ciências biológicas
zoologia e botânica

Centro de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas

**“Efeitos da fragmentação florestal na fenologia de *Ficus adhatodifolia*
Schott ex Spreng. e na interação com vespas”**

Orientado: Luiz Fernando Ferreira Pol

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini

Londrina – PR

Maio/2016

LUIZ FERNANDO FERREIRA POL

**“EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA FENOLOGIA DE
FICUS ADHATODIFOLIA SCHOTT EX SPRENG. E NA INTERAÇÃO COM
VESPAS”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciências Biológicas: Biodiversidade e Conservação de
Áreas Fragmentadas da Universidade Estadual de
Londrina para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Pol, Luiz Fernando Ferreira.

Efeitos da fragmentação florestal na fenologia de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. e na interação com vespas / Luiz Fernando Ferreira Pol. - Londrina, 2016.
78 f. : il.

Orientador: Edmilson Bianchini.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2016. Inclui bibliografia.

1. Ecologia vegetal - Tese. 2. Fenologia vegetal - Tese. 3. Interação inseto-planta - Tese. 4. Vespa - Tese. I. Bianchini, Edmilson. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

LUIZ FERNANDO FERREIRA POL

**“EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA FENOLOGIA DE
FICUS ADHATODIFOLIA SCHOTT EX SPRENG. E NA INTERAÇÃO COM
VESPAS”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciências Biológicas: Biodiversidade e Conservação de
Áreas Fragmentadas da Universidade Estadual de
Londrina para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edmilson Bianchini
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. José Eduardo Lahoz da Silva Ribeiro
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Rodrigo Augusto Santinelo Pereira
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Londrina, 10 de maio de 2016.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador prof. Dr. Edmilson, pela idéia do projeto, por me introduzir ao mundo das figueiras, juntamente com o prof. Dr. José Eduardo, quem também agradeço, e pela paciência, instruções e correções durante a fase de desenvolvimento e escrita da dissertação.

Gostaria de agradecer também à Capes pelo apoio financeiro durante o Mestrado.

Ao Departamento de Biologia Animal e Vegetal (BAV) e a Universidade Estadual de Londrina (UEL) pelo apoio estrutural e equipamentos para pesquisa.

À banca examinadora da qualificação e defesa do Mestrado.

Agradeço ao Hugo, por compartilhar todos os campos comigo, me ensinar muitas coisas, ajuda com as matérias e todo o companheirismo desde antes de eu entrar no Mestrado. Sem ele, a conclusão deste trabalho não seria possível.

A prof. Dra. Ana Vergínia, pelo direcionamento na parte estatística deste projeto.

Aos técnicos da Universidade Estadual de Londrina (UEL), em especial ao Edy, por me levar a primeira vez até as áreas e me ajudar na busca pelas figueiras, e por estar sempre interessado no andamento do meu trabalho.

Aos motoristas da UEL, que me levaram para algumas coletas quando precisei.

Ao meu pai e minha mãe. Estou aqui por causa deles. E por todo o apoio que meu pai deu

neste tempo morando longe. E também agradeço aos meus outros familiares, dos mais próximos, aos mais distantes, que algum dia já foram importantes em minha vida.

Aos meus amigos da Biologia da UEL, que facilitaram muito minha adaptação na cidade de Londrina, e serão sempre lembrados por esses dois anos inesquecíveis.

Aos meus amigos que compartilhamos moradia e muitos bons momentos.

Ao prof. Dr. Rodrigo Pereira do laboratório de Ecologia Vegetal da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, por me receber, ensinar e opinar no trabalho.

Ao Fernando, Larissa e demais pesquisadores do laboratório de Ecologia Vegetal da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, pela receptividade e ajuda na identificação das vespas Agaonidae. Ao Luciano Palmieri, pela ajuda na identificação de um gênero, para complementar este trabalho.

Aos meus amigos biólogos e agregados de São Bernardo do Campo e São Paulo. Saudades dessa galera e espero revê-los em breve.

À Rosana, por auxiliar nos processos burocráticos e sempre me lembrar das responsabilidades no prazo.

Aos meus amigos de São Bernardo do Campo, SP, Rodrigo e Denyson, pela amizade duradoura, me apoiando sempre, e para sempre.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Ciclo de desenvolvimento dos sicônios de espécies monóicas (adaptado de Harrison 2005 e Simon van Noort - www.figweb.org). Tanto vespas polinizadoras como vespas não polinizadoras eclodem e saem dos sicônios 3
- Figura 2** – Detalhes internos dos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. a/b- sementes em desenvolvimento. c- flor feminina com estilete curto e pedicelo longo. d- flor feminina com estilete longo e pedicelo curto. e- flor masculina em desenvolvimento. f- vespa polinizadora em desenvolvimento dentro de flor feminina. g- detalhe interno do ostíolo (é possível observar o “caminho” de flores inférteis até a cavidade interna. Os sicônios nas imagens A, B e C ficaram armazenados em álcool e por isso perderam a coloração natural, observado na imagem D. Fotos: Luiz Fernando Ferreira Pol..... 4
- Figura 3** – Alta produção de sicônios por uma única árvore de *Ficus adhatodifolia* no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, Paraná, sul do Brasil (Foto: Hugo H. Pires) 5
- Figura 4** – Tipos de interação entre diversos organismos e figueiras em uma floresta conservada (adaptado de Herre 1999) 7
- Figura 5** – Sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng, município de Londrina, PR, Brasil. Fotos: Luiz Fernando Ferreira Pol 9
- Figura 6** – Vespas associadas aos sicônios de *F. adhatodifolia* encontradas no presente estudo. A – vespa polinizadora *Tetrapus* sp. B à E – vespas não polinizadoras do gênero *Critogaster*. B – *C. singularis*; C – *C. nuda*; D – *C. piliventris*; E – *C. flavescens* 10
- Figura 7** – Mapa do domínio da Mata Atlântica no Brasil (bege) e os remanescentes florestais atuais (verde), com destaque para o estado do Paraná. A área de estudo está indicada pelo círculo vermelho (adaptado de SOS Mata Atlântica e INPE 2013) 12
- Figura 8** – Fragmentos estudados na região de Londrina, PR, sul do Brasil. 1 – Parque Estadual Mata dos Godoy. 2 – Mata Doralice. 3 – Estação Ecológica Ferraz. 4 – Fazenda Alvorada. 5 – Ibiaci. 6 – Igapó (figueiras espaçadas em uma área de lazer na cidade de Londrina). Fonte: Quantum Gis 2.14 e Google Earth 13

Figura 9 –	Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) e seu entorno. Londrina, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica http://mapas.sosma.org.br/dados/	14
Figura 10 –	Mata Doralice e seu entorno, às margens do rio Tibagi, município de Ibioporã, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica http://mapas.sosma.org.br/dados/	15
Figura 11 –	Estação Ecológica Ferraz, e seu entorno, Londrina, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica http://mapas.sosma.org.br/dados/	16
Figura 12 –	Fazenda Alvorada e seu entorno, Alvorada do Sul, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica http://mapas.sosma.org.br/dados/	17
Figura 13 –	Ibiaci e seu entorno, Primeiro de Maio, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica http://mapas.sosma.org.br/dados/	18
Figura 14 –	Lago Igapó e seu entorno, Londrina, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica http://mapas.sosma.org.br/dados/	19
Figura 15 –	Recipientes tampados com tecido voil, onde os sicônios foram armazenados no Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade Estadual de Londrina. Fotos: Luiz Fernando Ferreira Pol	20

Artigo

- Figura 1** – Mapa do Brasil, com ênfase na região norte do Estado do Paraná. A imagem à direita representa os fragmentos florestais em verde e os fragmentos estudados em vermelho. 1 – Parque Estadual Mata dos Godoy; 2 – Mata Doralice; 3 – Estação Ecológica Ferraz; 4 – Fazenda Alvorada; 5 – Ibiaci; 6 – Lago Igapó. Fonte: Quantum Gis 2.14 e Google Earth.....37
- Figura 2** – Porcentagem de indivíduos com sicônios nas fases B (barra branca) e D (barra tracejada), durante o período de um ano, em quatro fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil.....41
- Figura 3** – Frequência de vespas não polinizadoras de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng nos sicônios amostrados em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. Barras brancas = *Critogaster nuda* Mayr; barras pontilhadas = *Critogaster singularis* Mayr; barras tracejadas = *Critogaster piliventris* Mayr.....45
- Figura 4** – Número médio de sementes nos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. As barras verticais indicam os intervalos de confiança em 95%47
- Figura 5** – Número médio de vespas polinizadoras (*Tetrapus* sp.) nos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. As barras verticais indicam os intervalos de confiança em 95%48
- Figura 6** – Número médio de vespas não polinizadoras (*Critogaster* sp.) nos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. As barras verticais indicam os intervalos de confiança em 95%49

Apêndices

- Figura 1** – Exemplar da vespa polinizadora *Tetrapus* sp. amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, Paraná, sul do Brasil. Foto: Guilherme Willrich..... 59
- Figura 2** – Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster nuda* Mayr amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, Paraná, sul do Brasil. Foto: Guilherme Willrich..... 60
- Figura 3** – Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster singularis* amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, Paraná, sul do Brasil. Foto: Guilherme Willrich 61
- Figura 4** – Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster piliventris* Mayr amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, Paraná, sul do Brasil. Foto: Guilherme Willrich 62
- Figura 5** – Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster flavescens* Mayr amostrada em sicônio de *Ficus obtusiuscula* Miq. de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, Paraná, sul do Brasil. Este indivíduo foi escolhido para ilustrar o trabalho por estar em melhor estado de conservação do que os coletados nos sicônios de *F. adhatodifolia* Schott ex Spreng. Foto: Fernando Farache 63

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Classificação e distribuição do gênero *Ficus* no mundo (adaptado de Cruaud et al. 2012) Subg. – Subgênero; Riq. – Riqueza de espécies; Repr. – Característica reprodutiva; Dist. Do Subg. – Distribuição do subgênero no mundo; Gên. Pol. – Gênero das vespas polinizadoras; Pol. – Polinização2
- Artigo**
- Tabela 1** – Soma dos pontos no ranking de fenologia nas fases B (barras brancas) e D (barras pretas) em cada fragmento de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil no período de um ano (2014/2015). PEMG - Parque Estadual Mata dos Godoy; MD - Mata Doralice; EEF - Estação Ecológica Ferraz; FA - Fazenda Alvorada; IG - Lago Igapó. A barra branca do PEMG, em Fevereiro, representa o maior valor no ranking: 20 pontos42
- Tabela 2** – Espécies de invertebrados (adultos ou larvas) não polinizadores associados ao sicônio na fase D de *Ficus adhatodifolia*, em fragmentos de Mata Atlântica da região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó44
- Tabela 3** – Verificação de quais fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil, que são aceitos nos modelos propostos sobre a influência da fragmentação ambiental na produção de sementes, vespas polinizadoras e vespas não polinizadoras em sicônios na fase D de *Ficus adhatodifolia*, utilizando Modelos Lineares Generalizados. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. EP = Erro padrão.....46

SUMÁRIO

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	viii
Resumo	xi
Abstract	xiii
1. Introdução Geral	1
História Natural do gênero <i>Ficus</i>	1
<i>Ficus adhatodifolia</i> Schott ex Spreng., características e morfologia	8
Vespas polinizadoras e não polinizadoras de <i>Ficus adhatodifolia</i>	9
A fragmentação florestal da Mata Atlântica com ênfase no Norte do Paraná	11
2. Metodologia Geral	12
Área de Estudo	12
Material e Métodos.....	19
Análise dos dados.....	20
3. Referências Bibliográficas	21
Artigo	
Resumo	32
Abstract	33
Introdução	34
Material e Métodos	35
Espécie Estudada.....	35
Área de Estudo	36
Coleta de Dados	38
Análise de Dados.....	39
Resultados	40
Produção de Sicônios	40
Fragmentos próximos.....	42
Sicônios	43
Produção de sementes e vespas	45
Discussão	49
Produção de sicônios e fragmentos próximos	49
Fauna não polinizadora associada	51
Produção de sementes e vespas	52

São as áreas influenciadoras no mutualismo?	54
Referência Bibliográfica	55
Apêndices	59

POL, Luiz Fernando Ferreira. “Efeitos da fragmentação florestal sobre a fenologia de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. e na interação com vespas” 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

Resumo

O norte do Paraná era coberto por Floresta Estacional Semidecidual contínua. Em razão da colonização, exploração da madeira, cultivo de café e outros produtos agrícolas, a floresta foi intensamente fragmentada, restando menos de 8% da floresta original. A fragmentação pode afetar diversos processos ecológicos, como a polinização, implicando em extinções de plantas e animais. As espécies de *Ficus* podem ser susceptíveis a essas alterações ambientais devido à interação mutualística da polinização ser específica neste gênero, em que somente espécies de vespa Agaonidae conseguem polinizá-las, pois suas flores estão protegidas no interior do sicônio. *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng, é comum em fragmentos florestais da região norte do Paraná, pertence à seção *Pharmacosycea*, a qual apresenta 35 espécies na região neotropical, sendo onze no Brasil. Uma espécie de vespa do gênero *Tetrapus* Mayr, poliniza esta figueira. Além delas, vespas não polinizadoras do gênero *Critogaster* Mayr também são comumente encontradas em seus sicônios. Foram levantadas as perguntas: (i) a fragmentação tornou a população de *F. adhatodifolia* insuficiente para manter indivíduos reprodutivos o ano todo? (ii) a produção média de sementes e abundância de vespas polinizadoras por sicônio é maior nos maiores fragmentos florestais? Foram estudados cinco fragmentos na região norte do Paraná, com diferentes tamanhos, além de uma área urbana. Os 56 indivíduos de *F. adhatodifolia* amostrados nestes locais foram georreferenciados e a densidade de figueiras e número de fragmentos próximos aos fragmentos estudados foram determinados. O estudo durou um ano e, neste período, sicônios liberando vespas recém-nascidas (fase D) foram coletados em todas as áreas, separados em laboratório e as estruturas internas (vespas polinizadoras, vespas não polinizadoras e sementes) foram contadas, com o propósito de identificar possíveis interferências da fragmentação florestal neste mutualismo através de Modelos Lineares Generalizados (GLM) Binomial Negativo. *Ficus adhatodifolia* possui reprodução assíncrona na população, onde apenas em fevereiro e junho não foram observados sicônios liberando vespas. A média de safras por indivíduo por ano que alcançou a fase D foi 0,52. O Parque Estadual Mata dos Godoy, por ter mais indivíduos de *F. adhatodifolia* observados, apresentou maior produção de sicônios. Também é a área com maior número de fragmentos próximos (5 km ou menos), com maior densidade linear de *F. adhatodifolia*, e com mais espécies animais associadas. As vespas polinizadoras *Tetrapus* sp. estavam presentes em mais de 95% de todos os sicônios, não importando a área e, por isso, o mutualismo *Ficus*-polinizadoras não se perdeu mesmo nos menores

fragmentos florestais, apesar de que analisados separadamente, os menores fragmentos não parecem ser capazes de manter indivíduos de *F. adhatodifolia* reprodutivos durante o ano todo, precisando de polinizadores vindos de outros fragmentos. As vespas não polinizadoras *Critogaster nuda* Mayr 1885, *C. singularis* Mayr 1885 e *C. piliventris* Mayr 1885 foram encontradas em mais de 50% dos sicônios. Além destas, também foram encontrados nos sicônios: vespas não polinizadoras *C. flavescens* Mayr 1885 e *Ficicola* sp., besouros Staphylinidae e *Ceratopus* sp., e três morfotipos de Díptera. Comparando-se a abundância das vespas polinizadoras e vespas não polinizadoras por sicônio com Correlação de Spearman obteve-se relação negativa e significativa para as três espécies de *Critogaster* analisadas, sendo a relação com *C. piliventris* ($S = 6892489$ rho $-0,32$; $p < 0,001$; $n = 315$) a mais forte, indicando possível parasitismo ou competição nas galhas utilizadas por vespas polinizadoras. Por outro lado, as sementes apresentaram correlação positiva e significativa com as vespas polinizadoras ($S = 3698332$, rho $0,29$ $p < 0,001$, $n = 315$). Separando as áreas, foi verificado que as vespas polinizadoras e não polinizadoras obtiveram diferenças significativas, mas não parecem ter relação com o tamanho dos fragmentos (LRT $p < 0,001$; LR stat (χ^2) = $56,9$; $n = 369$) e (LRT $p = 0,006$; LR stat (χ^2) = $15,2$; $n = 369$) respectivamente. Observou-se que as vespas polinizadoras são mais abundantes nos fragmentos de tamanho médio, não ficando claro quais são os fatores influenciadores neste mutualismo.

Palavras-chave: Floresta estacional semidecidual. Mutualismo. Polinizadores. Sicônio.

POL, Luiz Fernando Ferreira. “Forest fragmentation effects on the *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. phenology and interaction with wasps” 2016. 78 p. Dissertation (Master’s degree in Biological Sciences) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

Abstract

The northern of Paraná state were entirely covered by Seasonal Semideciduous Forest. Because of colonization and human activities such as logging, coffee cultivation and other agriculture, the forest was intensively fragmented, remaining less than 8% of the original forest. The fragmentation can affect several ecological processes such as pollination, which can result in the extinction of plant and animal species. *Ficus* species can be susceptible to this environmental changes because of their specific mutualistic interaction, as their flowers are protected inside a structure called syconium, and only one kind of Agaonidae wasps can pollinate them. *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. is common in forest fragments of northern Paraná. It belongs to *Pharmacosycea* section with 35 species in the neotropics, eleven occurring in Brazil. A wasp species from *Tetrapus* Mayr 1885 pollinates *F. adhatodifolia*. Besides them, non pollinator wasps from genera *Critogaster* Mayr 1885 are also commonly found in syconia of this fig tree. Two questions were made from this study (i) the fragmentation led to an insufficient *F. adhatodifolia* population for maintenance of reproductive individuals along all the year? (ii) the mean seed production and the mean pollinator wasps abundance per syconium is higher on the larger Forest fragments? Five of the northern Paraná state fragments, with different sizes, and one urban area, were studied. The 56 individuals of *F. adhatodifolia* found were georeferenced and the fig trees density and the number of fragments in the neighborhood were determined. The study lasted one year and in this period syconia with born wasps (D phase) were collected in all studied fragments, separated in laboratory, and the internal structures (pollinator wasps, non pollinator wasps and seeds) counted, to verify possible forest fragmentation interferences on this mutualism using Generalized Linear Models (GLM) Negative Binomial. *Ficus adhatodifolia* has asynchronous reproduction on the population level, where only in february and june syconium with borned wasps were not found. The mean of crops by individuals per year that reached D phase were 0.52. The Godoy Forest State Park, having more individuals observed, produced more syconia. It also has more near fragments with distance until 5 km, have the higher linear density of fig trees, and had more associated animal species found inside the syconium. The pollinator wasps *Tetrapus* sp. were found in more than 95% of all syconia in all studied areas, and for that, the *Ficus*-pollinator mutualism were not lost even in the smallest fragments. If analysed separately, the smallest fragments do not seem to be able to maintain *F. adhatodifolia* individuals reproductive along the year, with the need of migrating pollinators. The

non pollinator wasps *Critogaster nuda* Mayr 1885, *C. singularis* Mayr 1885 and *C. piliventris* Mayr 1885 are found in more than 50% of the syconium. Beside those wasps, other organisms were also found: non pollinator wasps *Critogaster flavescens* Mayr 1885, *Ficicola* sp. and beetles from Staphylinidae family and *Ceratopus* sp., and three morphotypes of Diptera order. Comparing pollinator wasps and non pollinator wasps abundance per syconium with Spearman's correlation, a significant and negative relation was found for the three *Critogaster* species analysed, with stronger correlation to *C. piliventris* ($S = 6892489$ rho $-0,32$; $p < 0,001$; $n = 315$) indicating that the non pollinator wasps possibly parasite pollinator galls or are competitors. Seeds had positive correlation with pollinator wasps ($S = 3698332$ rho $0,29$ $p < 0,001$, $n = 315$). Separating the fragments, both kinds of wasps had significant difference with the models, but the relation do not seem to be related with fragment size (LRT $p < 0,001$; LR stat (χ^2) = $56,9$; $n = 369$) e (LRT $p = 0,006$; LR stat (χ^2) = $15,2$; $n = 369$) respectively. It was observed that pollinator wasps were more abundant on the medium sized fragments, and the real influencing factors on this mutualism were not clear.

Key words: Mutualism. Pollinators. Stational semidecidual forest. Syconium.

Introdução geral

História natural do gênero *Ficus*

As plantas das florestas neotropicais possuem inúmeras formas de polinização, mas os insetos são os principais responsáveis por esse processo (Bawa 1990). A entomofilia é um tipo de polinização com relação mutualística entre inseto e planta (Ricklefs 2010) e, em alguns casos, essa interação biológica corre risco de desaparecimento por causa da fragmentação, agricultura, pecuária, pesticidas, herbicidas, espécies exóticas e o aquecimento global (Kearns et al. 1998). A perda dessa interação implica em extinções de plantas e animais.

Esta relação mutualística possui exemplos bem conhecidos, como das plantas do gênero *Ficus*, conhecidas popularmente como figueiras. *Ficus* spp. são importantes como parâmetro medidor de conservação e para pesquisa (Martinelli et al. 2013), pois sua velocidade de crescimento é de média a rápida, possui grande potencial de recuperação de áreas degradadas (Souza 2002), além de servir como alimento para diversas espécies animais. Apesar de limitadas basicamente aos trópicos, elas são preadaptadas a uma diversidade grande de ambientes (McLeish et al. 2011).

Figueiras são reconhecidas na paisagem por meio de várias características pré-adaptadas tais como (altura, látex, raízes tabulares, copas amplas, etc.). Suas raízes serpenteiam pelo solo da floresta e, em alguns casos extremos, podem cobrir áreas de mais de 2 ha (Silman e Krisel 2006). A estrutura mais característica de uma figueira é o sicônio. Este é formado por um receptáculo fechado por brácteas modificadas até uma pequena entrada – o ostíolo (Verkerke 1989).

No interior do sicônio são formadas as flores e os frutos. Portanto, ao longo do seu desenvolvimento, ele passa por diversas fases, que dificilmente são reconhecidas externamente. O tamanho final do sicônio varia entre espécies, de aproximadamente um a dez centímetros de diâmetro (van Noort 2004). Na fase de floração, as vespas polinizadoras, chamadas de fundadoras, entram no sicônio pelo ostíolo.

O gênero *Ficus* é o principal gênero da família Moraceae, uma das famílias vegetais mais representativas na estrutura das florestas tropicais. Ela possui 37 gêneros e 1.150 espécies, possuindo inclusive alguns representantes em zona temperada. No Brasil, são 19 gêneros e 200 espécies, das quais 32% são endêmicas (Neto et al. 2013). Sendo um destaque da família, *Ficus* está entre os maiores gêneros de plantas terrestres (Berg 1990; Cook e Segar 2010). O gênero teve origem próximo à separação da Eurásia com Américas, há 80 milhões de anos atrás (Cruaud et al. 2012), se espalhou pelo mundo principalmente na região tropical e, atualmente é dividido em seis subgêneros (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação e distribuição do gênero *Ficus* no mundo (adaptado de Cruaud et al. 2012)
 Subg. – Subgênero; Riq. – Riqueza de espécies; Repr. – Característica reprodutiva; Dist. Do Subg. – Distribuição do subgênero no mundo; Gên. Pol. – Gênero das vespas polinizadoras; Pol. – Polinização.

Subg.	Riq.	Seção	Repr.	Pol.	Gên. Pol.	Dist. do Subg.
<i>Pharmacosycea</i>	82	<i>Pharmacosycea</i>	Monóica	Passiva	<i>Tetrapus</i>	Ásia, Oceania, África, América
		<i>Oreosycea</i>	Monóica	Ativa	<i>Dolichoris</i>	
<i>Sycomorus</i>	142	<i>Sycocarpus</i>	Dióica	Ativa	<i>Ceratosolen</i>	Ásia, Oceania, África
		<i>Sycomorus</i>	Monóica/Dióica			
		<i>Adenosperma</i>	Dióica			
<i>Scydidium</i>	109	<i>Scydidium</i>	Dióica	Ativa	<i>Kradibia</i>	Ásia, Oceania, África
		<i>Palaeomorphe</i>	Dióica			
<i>Synoecia</i>	74	<i>Kissosycea</i>	Dióica	Ativa/Passiva	<i>Wiebesia</i>	Ásia, Oceania
		<i>Rhizocladus</i>	Dióica			
<i>Ficus</i>	61	<i>Ficus</i>	Dióica	Passiva	<i>Blastophaga</i>	Ásia, Oceania, África
		<i>Eriosycea</i>	Dióica	Ativa	<i>Valisia</i>	
<i>Urostigma</i>	288	<i>Americana</i>	Monóica	Ativa/Passiva	<i>Pegoscapus</i>	Ásia, Oceania, África, América
		<i>Galoglychia</i>	Monóica	Ativa	7 gêneros*	
		<i>Malvanthera</i>	Monóica	Ativa/Passiva	<i>Pleistodontes</i>	
		<i>Urostigma</i>	Monóica	Ativa/Passiva	<i>Platyscapa</i>	
		<i>Conosycea</i>	Monóica	Ativa/Passiva	3 gêneros**	

*Gêneros: *Agaon*, *Alfonsiella*, *Allotriozoon*, *Courtella*, *Elisabethiella*, *Nigeriella* e *Paragaon*.

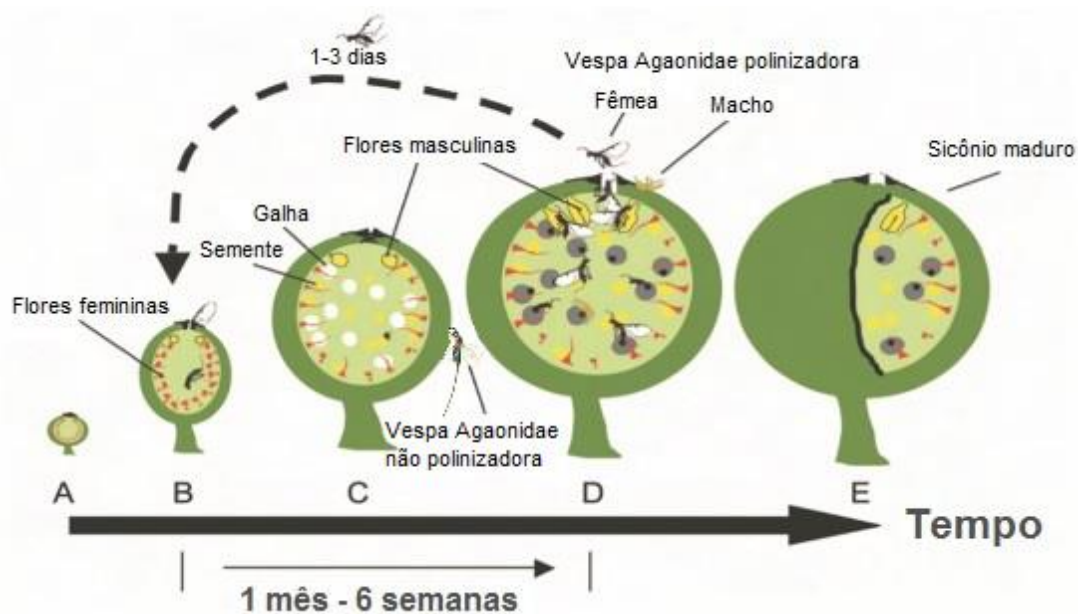
**Gêneros: *Eupristina*, *Deilagaon* e *Waterstoniella*.

Todas as vespas polinizadoras de figueiras são da família Agaonidae e estas possuem uma relação bastante estreita com as hospedeiras, a ponto de nenhum outro inseto conseguir polinizá-las (Herre et al. 1996). Essa interação inseto-planta parece ocorrer desde o surgimento das figueiras (Datwyler e Weiblen 2004). Apesar da complexidade e especificidade, existem casos de vespas que polinizam mais de uma espécie de *Ficus* (Michaloud et al. 1985; Ware e Compton 1992; Rasplus 1996; Michaloud et al. 1996; Marussich e Machado 2007; McLeish e van Noort 2012), e *Ficus* que possuem mais de uma espécie polinizadora. Também pode acontecer entrada acidental de polinizadoras em figueiras que não são suas hospedeiras naturais (Moe et al. 2011).

Além disso, também existem vespas Agaonidae não polinizadoras. Entre elas, estão as galhadoras e as parasitóides de outras vespas de sicônios (Elias et al. 2012).

Existem espécies de *Ficus* monóicas e outras ginodióicas (Tabela 1). Durante o desenvolvimento do sicônio, cinco fases são reconhecidas para espécies monóicas (Galil e Eisikowitch, 1968; Carauta e Diaz 2002), onde se incluem todas as figueiras neotropicais. Eventos específicos, em ordem cronológica, devem ocorrer para o sicônio atingir desenvolvimento completo (Fig. 1).

Figura 1 – Ciclo de desenvolvimento dos sicônios de espécies monóicas (adaptado de Harrison 2005 e Simon van Noort - www.figweb.org). Tanto vespas polinizadoras como vespas não polinizadoras eclodem e saem dos sicônios.



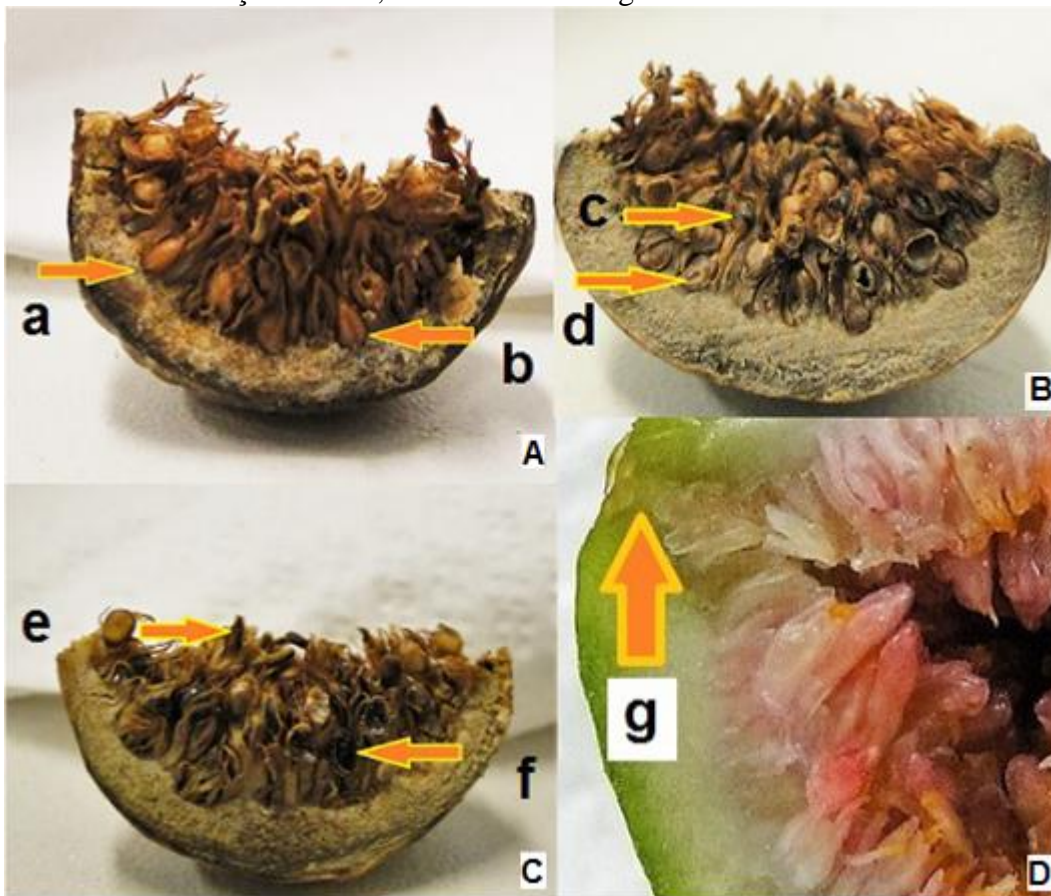
A fase A é o período inicial de desenvolvimento do sicônio e suas flores. Quando as flores femininas tiverem desenvolvidas (início da fase B), substâncias voláteis são liberadas pelos sicônios, podendo alcançar longas distâncias através do vento, atraindo as vespas (Condit 1947; Janzen 1979a; Barker 1985; Bronstein 1987; Gibernau e Hossaert-McKey 1998; Grison et al. 1999; Grison-Pigé et al. 2002; Chen et al. 2009; Wang et al. 2013) devido as antenas altamente especializadas que elas possuem (Li et al. 2009). Cada figueira libera uma substância única atraindo apenas a espécie que a poliniza (Ware et al. 1993; Grison et al. 1999) além de algumas espécies de vespas não polinizadoras (Ware e Compton 1994).

A proteção das flores no sicônio contra invasores gera um custo alto para as vespas polinizadoras que entrarem (fundadoras) (Gibernau et al. 1996). Ao entrar, o inseto perde as antenas, asas, e pode até morrer no processo (Janzen 1979b; Berg e Wiebes 1992). Neste momento, a inflorescência possui flores femininas prontas para a reprodução e flores masculinas em desenvolvimento.

Existem dois tipos de flores femininas: (i) estilete curto e pedicelo longo (mais fáceis para a vespa polinizadora ovipositar, formando galhas), (ii) estilete longo e pedicelo curto, que geralmente só recebem pólen e, por isso, desenvolverão sementes (Berg 1990; 2006) (Fig. 2). As vespas têm maior facilidade em ovipositar nas flores femininas de estilete curto (Jousselin et al. 2004; Yu et al. 2004), variando de 55% (*F. sur* Forssk.) a 99% (*F. salicifolia* Vahl) de acessibilidade (Nefdt e

Compton 1996), porém, Otero e Ackerman (2002) não encontraram evidências de limitação na acessibilidade às flores em *F. microcarpa* L.f. e *F. citrifolia* Mill.

Figura 2 – Detalhes internos dos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. a/b- sementes em desenvolvimento. c- flor feminina com estilete curto e pedicelo longo. d- flor feminina com estilete longo e pedicelo curto. e- flor masculina em desenvolvimento. f- vespa polinizadora em desenvolvimento dentro de flor feminina. g- detalhe interno do ostíolo (é possível observar o “caminho” de flores inférteis até a cavidade interna. Os sicônios nas imagens A, B e C ficaram armazenados em álcool e por isso perderam a coloração natural, observado na imagem D. Fotos: Luiz Fernando Ferreira Pol.



Durante a fase C, o ostíolo se fecha, os ovários fertilizados se desenvolvem em frutos e os ovários que receberam ovos da fundadora desenvolvem a galha que abrigará e alimentará a vespa em suas fases larvais (Fig. 2). Neste momento, vespas não polinizadoras que utilizam galhas chegam nos sicônios para ovipositar. Neste processo, elas inserem o ovipositor (geralmente maior que o das vespas polinizadoras) pela parede externa até encontrar uma galha (Elias et al. 2007).

Na fase D ocorre a antese das flores masculinas. Neste momento, os machos são os primeiros a eclodir, fazem pequenas aberturas nas galhas ocupadas pelas fêmeas, com quem copulam. Instintivamente usam suas mandíbulas bem desenvolvidas para abrir buracos na parede do sicônio (os únicos capazes de realizar isso). Após isso, morrem de esgotamento ou são predados por

invertebrados no exterior do sicônio. Por serem ápteros, não colonizam novos sicônios.

Enquanto isso, as fêmeas coletarão passiva ou ativamente os grãos de pólen. Vespas que coletam pólen ativamente possuem modificação morfológica chamada bolsa de pólen, onde é possível armazená-lo e carregá-lo coletando com as pernas (Galil e Eisikowitch 1969). Vespas polinizam passivamente não têm bolsa de pólen e estes se prendem ao corpo das vespas quando estas passam pelas flores masculinas desenvolvidas (Kjellberg et al. 2001). Posteriormente, as vespas polinizadoras deixarão o sicônio, juntamente com as vespas parasitas emergentes, para procurar e colonizar novos sicônios na fase B.

Na fase E, o sicônio é uma infrutescência, que se torna macia, com forte odor e redução de látex, o que possibilita a atração da fauna. O sicônio está pronto para dispersão, já que é nesta fase que as sementes (Fig. 2) completam seu desenvolvimento. Outros invertebrados associados às figueiras e seus sicônios (besouros da família Curculionidae, Staphylinidae, mariposas Pyramidae) costumam ser vistos nesta fase (Janzen 1979c; Compton 1993).

As larvas das vespas polinizadoras formam galhas onde existiriam sementes em desenvolvimento, gerando um custo para a planta, que perde 50% ou mais de suas flores produzidas em troca da polinização (Janzen 1979a; Addicott et al. 1990). Como a produção da planta, em geral, é alta (Fig. 3), essa interação por si só não gera risco para a perpetuação da espécie (Janzen 1979c).

Figura 3 – Alta produção de sicônios por uma única árvore de *Ficus adhatodifolia* no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, Paraná, sul do Brasil (Foto: Hugo H. Pires).



O desaparecimento das vespas e figueiras pode influenciar a estabilidade ecológica local, dependendo do número de espécies que interagem com estes organismos (Bawa 1990).

Trabalhos têm demonstrado uma grande quantidade de animais interagindo com diferentes estruturas das figueiras. Basset e Novotny (1999) encontraram centenas de espécies de insetos comedores de folhas e sugadores de seiva. Os sicônios são consumidos por diversos animais (Berg e Wiebes 1992), como répteis (Whiting e Greeff 1997), mamíferos (Lambert 1990; Compton et al. 1996), peixes e aves (Shanaham et al. 2001). Em alguns casos, aves podem representar mais de 50% dos consumidores de sicônios (Walker 2007) e, juntamente com os morcegos, podem apresentar maior riqueza de espécies, quanto maior for a riqueza de espécies de figueiras do ecossistema (Galindo-Gonzalez et al. 2000; Korine et al. 2000; Weldeln e Runkle 2000; Eshiamwata et al. 2006).

Estudos identificaram potenciais dispersores de sementes de figueiras (Jordano 1983; Galetti e Pedroni 1994; Horn 1997; Compton et al. 1996; Greeff e Whiting 1999). *Cebus apella* Linnaeus, 1758 (macaco-prego), *Nasua nasua* Linnaeus, 1766 (quati), *Tapirus terrestris* Linnaeus, 1758 (anta) e *Pecari tajacu* Linnaeus, 1758 (cateto) são alguns dos mamíferos que alimentam-se de *Ficus* nos fragmentos florestais do norte do Paraná (observação direta, indireta e relatos de outros pesquisadores).

Apesar de tantas interações com este gênero de planta, nem todos os sicônios produzidos são consumidos pela fauna vertebrada. Muitos insetos se aproveitam disso (Borcherding et al. 2000), pois as pequenas sementes são um recurso importante para alguns deles, principalmente besouros (Basset et al. 1997; Borcherding et al. 2000; Paarmann et al. 2001). Os besouros Curculionidae e as mariposas Pyramidae (Sugiura e Yamazaki 2004) destroem tanto frutos em desenvolvimento, como galhas.

Outros grupos de organismos também podem estar associados aos sicônios: ácaros (Walter 2000), fungos, nematóides (Baijnath e Ramcharun 1983; Pereira et al. 2000), protozoários e vespas (Baijnath e Ramcharun 1983). Algumas espécies de formiga se especializaram em figueiras por consumirem vespas que pousam nos sicônios (geralmente não polinizadoras), protegendo-os (Compton e Robertson 1988; Dejean et al. 1997); por serem consumidoras de vespas polinizadoras (Schatz e Hossaert-McKey 2003); ou por removerem sementes dos sicônios e fezes de vertebrados, auxiliando no processo de dispersão (Roberts e Heithaus 1986). Ninhos destas formigas são comumente encontrados próximo às figueiras (Schatz et al. 2008).

Também se encontram Drosophilidae (Compton 1993; Harry et al. 1996), Phoridae (díptera) e borboletas Lycaenidae (Compton 1993). São muitas interações registradas, inclusive vespas parasitas especializadas em larvas de Curculionidae (Palmieri et al. 2013).

Com tantos exemplos (Fig. 4), fica fácil entender quando Bleher et al. (2003) descobriram maior riqueza de espécies animais consumindo *Ficus* comparado com outras árvores em uma floresta tropical na África. Estes autores também quantificaram que a maior biomassa gerada por safra na comunidade vegetal está em espécies de *Ficus*, mostrando novamente sua importância para a estrutura das florestas.

Figura 4 – Tipos de interação entre diversos organismos e figueiras em uma floresta conservada (adaptado de Herre 1999).



Muitos sicônios são abortados antes de chegar à fase E. Chen et al. (2001) descobriram taxa de aborto em torno de 50% em *Ficus microcarpa*. Os abortos ocorrem geralmente quando os sicônios não são polinizados (Janzen 1979a), mas esta não é a causa exclusiva. De qualquer forma, o amadurecimento dos sicônios depende da polinização realizada pelas vespas (Shanaham et al. 2001), e a preferência que elas têm por sicônios ainda não utilizados (Ware e Compton 1994) maximiza essas chances. Observações sobre partenocarpia dentro do gênero *Ficus* já foram realizadas (Blondeau e Crane 1950).

Qualquer lapso temporal na floração da população de figueiras irá resultar em falha reprodutiva e redução do *fitness* da planta (Anstett et al 1997), pois as figueiras são comumente encontradas em baixa densidade (Foster e Brokaw 1982; Anstett et al. 1995). É mais comum encontrá-las em ambientes naturalmente perturbados, como bordas de floresta, regeneração secundária, clareiras por queda de árvores (Janzen 1979c) e próximo a rios (Coelho et al. 2014). Populações mais adensadas por sua vez, possuem boas chances de sucesso na reprodução (Bronstein et al. 1990) já que a baixa densidade populacional diminui as possibilidades de sucesso das vespas polinizadoras (Herre et al. 2008). Essas vespas não são boas voadoras, mas elas podem usufruir das correntes de ar e viajar à longas distâncias (Ahmed et al. 2009).

A fenologia varia entre espécies, mas costuma ser sincrônica em nível individual (Anstett et al. 1996; Peng et al. 2010), ou seja, a grande maioria dos sicônios de uma safra mudam de fase juntos. Apesar disso, Compton et al. (1994) mostraram exceção, em que vespas encontraram sicônios na Fase B da mesma árvore que emergiram (Fase D). Em termos de população, a fase reprodutiva é assincrônica e contínua durante o ano (Janzen 1979a; Khadari et al. 1995; Patel 1997; Peng et al. 2010; Bianchini et al. 2015). Consequentemente, a qualquer momento, uma porção dessas árvores ou está recebendo ou liberando vespas (Compton et al. 2000).

A grande quantidade de interações descritas para o sistema figueira-vespas, significa que a evolução dos ecossistemas tropicais tem sido influenciada por esse mutualismo (Cruaud et al. 2012). Somado a assincronia na produção de sicônios, autores como Korine et al. (2000) e Nason et al. (1998) consideram as figueiras espécies muito importantes para florestas tropicais.

No Brasil, são reconhecidas 78 espécies nativas de *Ficus* e mais três subespécies, distribuídas em dois subgêneros: *Pharmacosycea* (Miq.) Miq. e *Urostigma* (Gasp.) Miq. (Romaniuc Neto et al 2016). O subgênero *Pharmacosycea*, que é dividido em duas seções (Tabela 1), está no primeiro ramo de separação dos subgêneros atuais de figueira (Weiblen 2004; Cruaud et al. 2012). Este subgênero possui espécies monóicas, basicamente arbóreas terrestres, que atingem cerca de 25 m de altura, mas com alguns indivíduos ultrapassando 50 m. As folhas são glabras e alongadas (Carauta e Diaz 2002; Berg 2006; Souza 2009). A polinização é passiva (Nazareno et al. 2007) e, por isso, os sicônios contém muitas flores masculinas (Berg 1990), produzindo grande quantidade de pólen (Berg 2006).

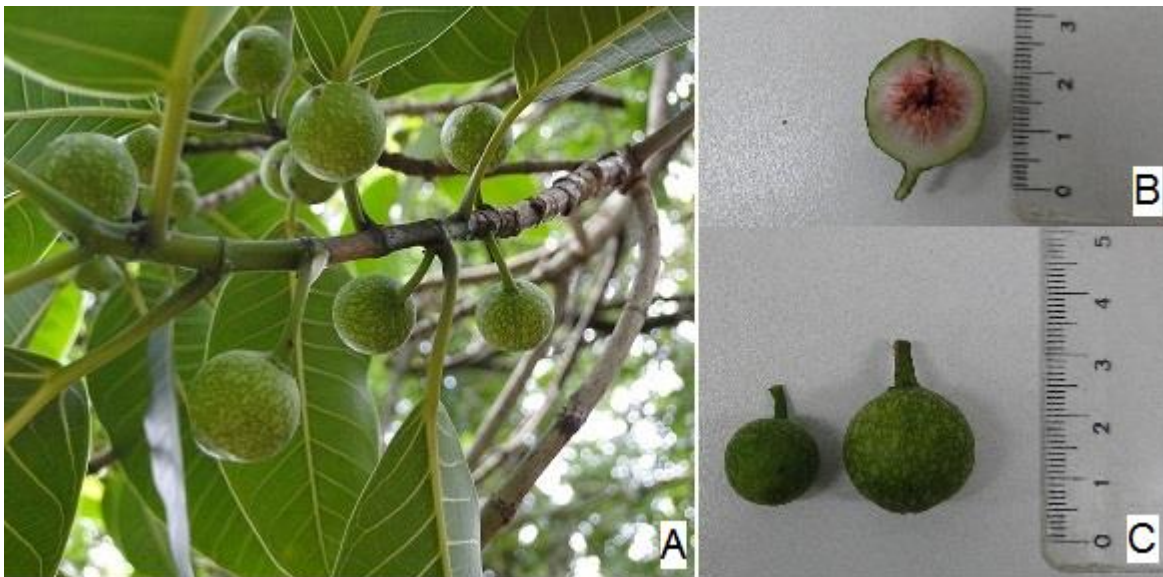
Essas espécies ocorrem em maior quantidade (ou são localmente restritas) em áreas perturbadas e clareiras (Foster e Brokaw 1982) e, conseqüentemente, costumam ser mais adensadas em estágios sucessionais iniciais (Heer et al. 2015). Possuem limitada plasticidade ambiental (Coelho et al. 2014) pois, a alta capacidade de absorção de água e estômatos pouco sensíveis ao déficit hídrico as fazem mais dependentes de água no ambiente (Hao et al. 2010). Quanto maior o sicônio, maior deve ser a taxa de transpiração para manter as temperaturas internas toleráveis para as vespas. As temperaturas internas são mais baixas que no meio externo (Patiño et al. 1994), mas com o aumento das temperaturas globais, a figueira e o microcosmo do sicônio podem ser afetados.

Ficus adhatodifolia Schott ex Spreng. - características e morfologia

Ficus adhatodifolia pertence a seção *Pharmacosycea* Miq., que apresenta 35 espécies na região neotropical, sendo 11 no Brasil (Pederneiras 2014; Pederneiras et al. 2015). Seus sicônios variam de 1 a 5 cm de diâmetro (Fig. 5). Possuem centenas de flores, incluindo flores femininas

com estilete longo, flores femininas com estilete curto, e flores masculinas (Fig. 2), e costumam ser rosadas (Carauta e Diaz 2002; Pelissari e Neto 2013; Coronado et al. 2014). É semelhante à *F. insipida* Willd. (Berg e Villavicencio 2004), mas elas apresentam diferenças entre si e são polinizadas por vespas diferentes (J-Yves Rasplus, dados não publicados apud Costa 2015). Costa (2015), utilizando marcadores genéticos, separou as duas espécies. Ocorre principalmente na Mata Atlântica e nas florestas de galeria do cerrado brasileiro e também nos limites com a Argentina, Bolívia e Paraguai, em altitudes de 10-1100 m (Pederneiras 2014).

Figura 5 – Sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng, município de Londrina, PR, Brasil. Fotos: Luiz Fernando Ferreira Pol.



Pelo histórico de destruição e fragmentação das florestas do norte do Paraná (Martins 1995; Soares e Medri 2002), os remanescentes naturais dessa região passaram a ser refúgios para espécies de figueiras. Por exemplo, no Parque Estadual Mata dos Godoy, uma Unidade de Conservação do norte do Paraná, *F. adhatodifolia* apresentou densidade de seis plantas adultas por ha (Soares-Silva e Barroso 1992), sendo considerada relevante como recurso alimentar para os animais neste local (Bianchini et al. 2015), podendo desequilibrar o ecossistema caso a interação com as vespas polinizadoras colapse.

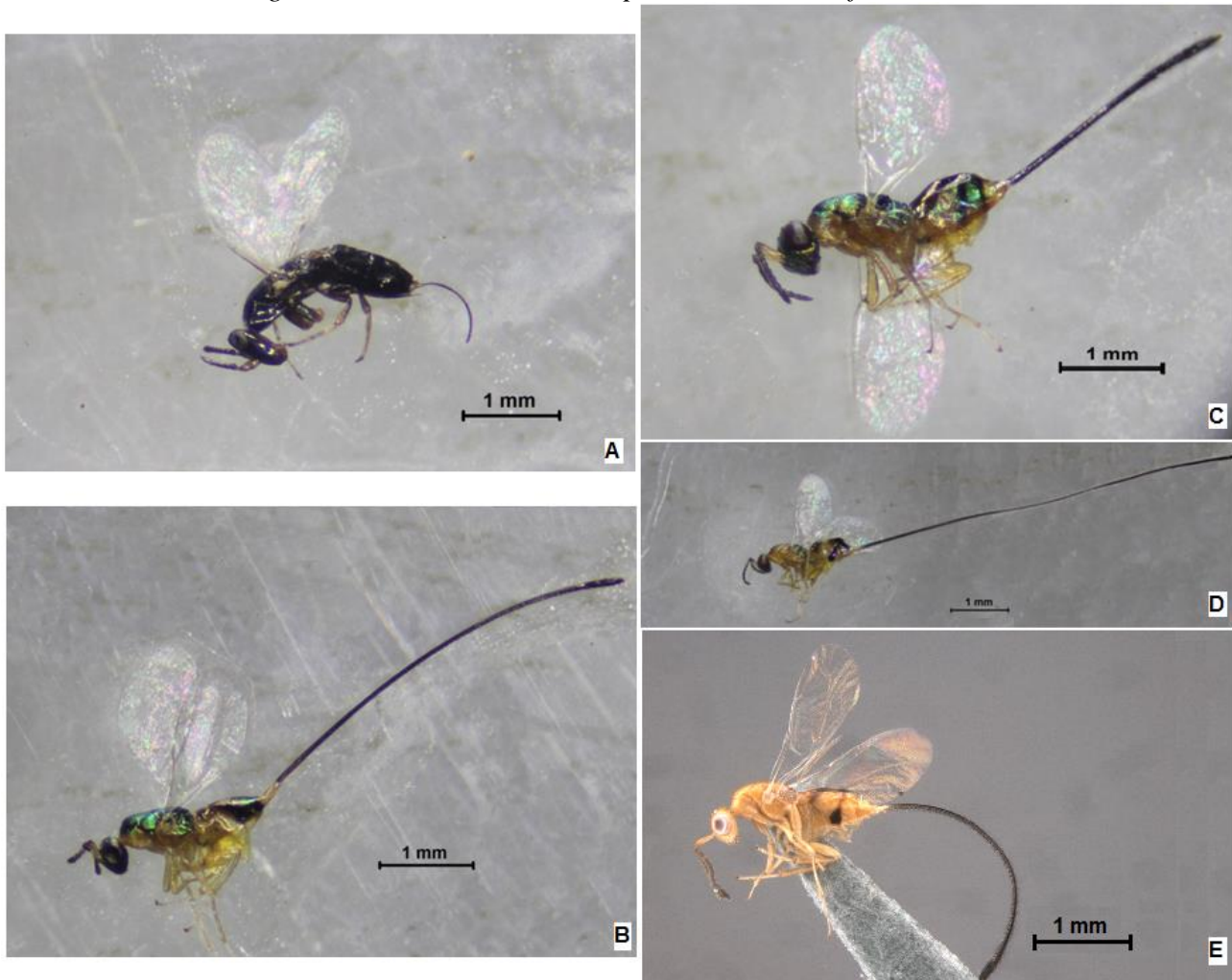
Vespas polinizadoras e não polinizadoras de *Ficus adhatodifolia*.

Ficus adhatodifolia é polinizada por vespas do gênero *Tetrapus* Mayr 1885. Este gênero pode ser da primeira linhagem conhecida que se separou dos outros grupos de polinizadoras de figueiras (Weiblen 2004; Lopez-Vaamonde et al. 2009), apesar de novos dados moleculares

sugerirem outra posição desse gênero na linhagem das vespas Agaonidae (Cruaud et al. 2012).

Critogaster Mayr 1885 é o gênero de vespas não polinizadoras que interage com *F. adhatodifolia*. Em espécies de *Ficus* do subgênero *Pharmacosycea*, foram feitos registros de *Critogaster* ovipositando antes das vespas polinizadoras entrarem no sicônio e, portanto, é inseguro afirmar que elas parasitam as *Tetrapus* (West et al. 1996). Por outro lado, em *F. adhatodifolia* foram observados indivíduos de *Critogaster* ovipositarem após as vespas polinizadoras (F.H.A. Farache, observação pessoal). A maioria das vespas não polinizadoras insere o ovipositor de fora para dentro do sicônio e, por isso, geralmente possuem longos ovipositores, que variam conforme a sua especialização e a espessura da parede do sicônio (van Noort 2004; Zhen et al. 2005) (Fig 6).

Figura 6 – Vespas associadas aos sicônios de *F. adhatodifolia* encontradas no presente estudo. A – vespa polinizadora *Tetrapus* sp. B à E – vespas não polinizadoras do gênero *Critogaster*. B – *C. singularis*; C – *C. nuda*; D – *C. piliventris*; E – *C. flavescens*.



Figueiras têm uma relação mais específica com vespas polinizadoras do que com as vespas não polinizadoras (Weiblen e Bush 2002), pois é comum encontrar estas últimas utilizando sicônios de diferentes espécies de figueiras. Para *F. adhatodifolia* é conhecida apenas uma espécie de

Tetrapus ainda não descrita, enquanto existem ao menos cinco espécies de vespas não polinizadoras (Bouček 1993).

As vespas fundadoras ovipositam primeiro ovos de vespas machos e, por isso, estas galhas costumam ser as mais centrais no sicônio (Zavodna et al. 2005; Yu e Compton 2012). As galhas de vespas fêmeas são geradas logo depois, também no centro do sicônio. Isso pode ser uma proteção evolutiva contra o parasitismo dessas vespas. Por outro lado, as sementes ficam mais próximas à parede do sicônio, sendo vulneráveis às vespas não polinizadoras galhadoras.

A fragmentação florestal da Mata Atlântica com ênfase no Norte do Paraná

O bioma Mata Atlântica era praticamente contínuo do nordeste até o sul do Brasil, abrangendo cerca de 1.360.000 km² (MMA 2013). O processo de colonização e ocupação vem causando muitos problemas a este bioma há alguns séculos (Leitão Filho 1987, Dean 1996; SOS Mata Atlântica e INPE 2013). A história humana, neste ambiente, é de exploração e destruição, irreversível para as florestas tropicais. Durante gerações, a floresta foi derrubada e fragmentada em busca de recursos naturais para escambo e venda, além de abrir passagem entre as vilas. O crescimento populacional, ocupação desordenada do espaço e uso inadequado do solo para atividades humanas limitaram as áreas florestais a pequenos fragmentos rodeados por cidades, pecuária e matriz agrícola (Tabarelli et al. 2004).

Os remanescentes verdes nos espaços desmatados são os últimos testemunhos da paisagem que antecedeu a civilização (Dean 1996), algo em torno de 8% da floresta original (MMA 2013). A devastação que ocorreu e ainda ocorre neste ambiente gera diversos problemas para a fauna e flora, devido a alteração nas estruturas biótica e abiótica local (Lovejoy 1980), como diminuição das populações e menor umidade atmosférica respectivamente. Análises em fragmentos florestais menores e mais degradados mostram redução na diversidade de frugívoros (Kirika et al. 2008) e de polinizadores (Wang et al. 2005). Mesmo fragmentada, a Mata Atlântica ainda abriga grande biodiversidade, sendo de grande relevância para conservação (Myers et al. 2000).

No norte do Paraná, do século XVI até o início do século XX, o desmatamento era expressivo apenas ao caminho dos tropeiros (Soares e Medri 2002). A região passou a ter interesse econômico em razão da madeira e, posteriormente, pela boa fertilidade do solo no chamado ciclo do café, o principal fator gerador da colonização e crescimento econômico local (Martins 1995; Soares e Medri 2002). Nesta região, a agricultura intensiva, o crescimento das indústrias e das cidades ainda geram degradação ambiental.

Na região do estudo, *Ficus* possui alta relevância, sendo o sétimo gênero arbóreo em riqueza, com sete espécies, duas delas do subgênero *Pharmacosycea* – *F. adhatodifolia*, a mais comum, e *F. obtusiuscula* Miq. (Dias et al. 2002).

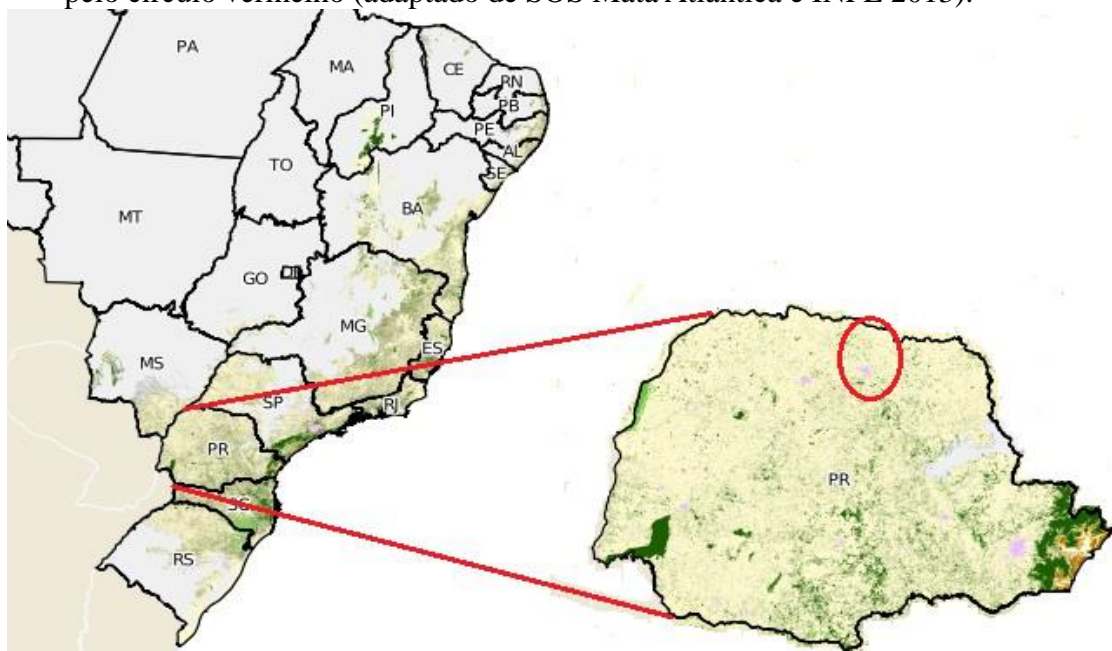
Foram levantadas as perguntas: (i) a fragmentação tornou a população de *F. adhatodifolia* insuficiente para manter indivíduos reprodutivos o ano todo? (ii) a produção média de sementes e abundância de vespas polinizadoras por sicônio é maior nos maiores fragmentos florestais? É importante entender como processos ecológicos (neste caso, a polinização) são afetados por essas perturbações, para assim prever possíveis cenários futuros nos fragmentos e, se necessário, propor estratégias de conservação (Harris e Johnson 2004) das espécies e dos fragmentos da região.

Metodologia Geral

Área de Estudo

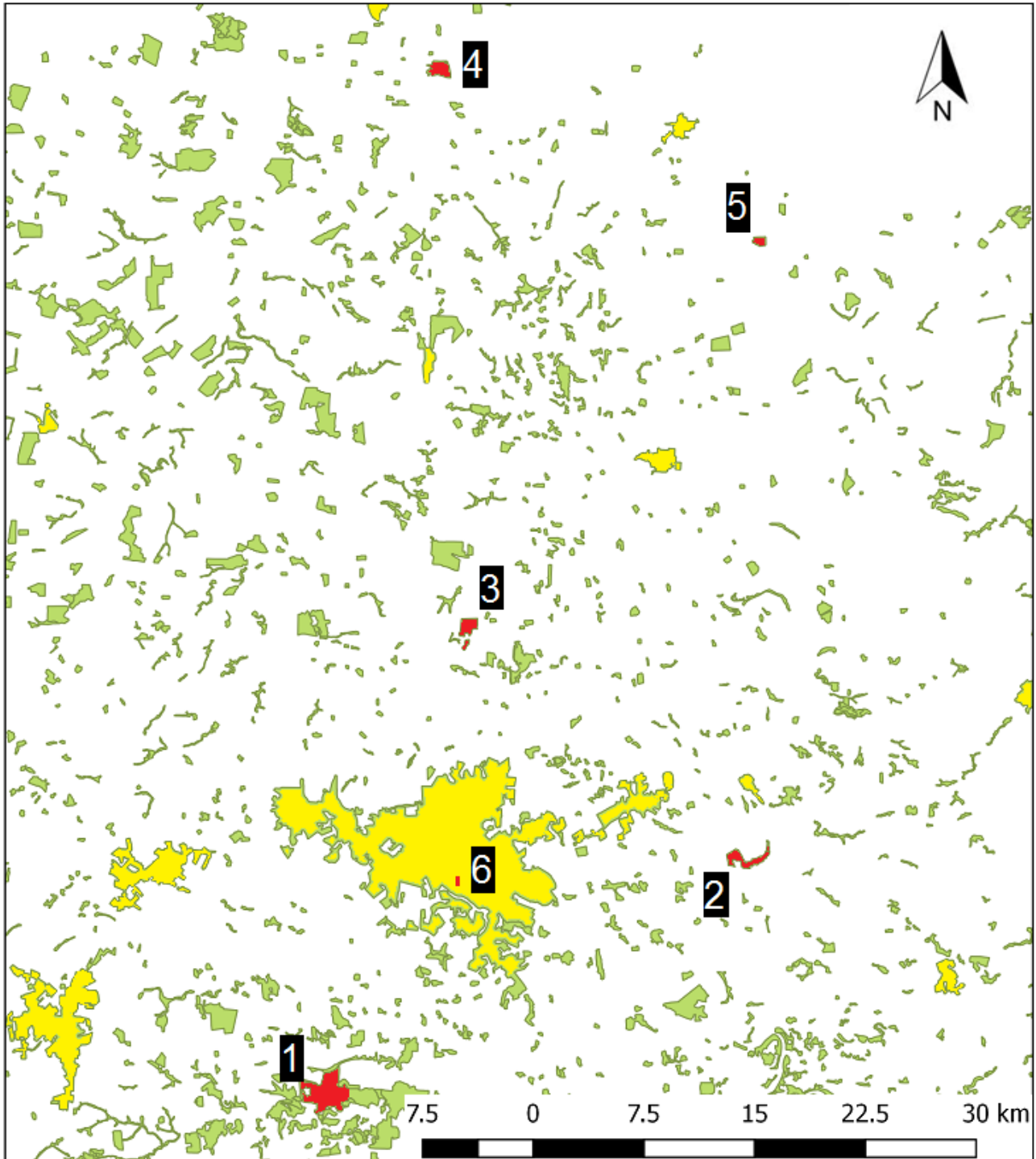
A área de estudo situa-se na região sul do Brasil, no estado do Paraná (Fig. 7). O clima é do tipo Cfa – subtropical úmido mesotérmico, segundo a classificação de Köppen (Bianchini et al. 2003). Com base nos dados de 1976 a 2012 da estação meteorológica de Londrina do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a média anual de temperatura é 21,3°C e a média anual de precipitação é 1567 mm. O período considerado seco e frio vai de abril a setembro (outono / inverno) e o período quente e úmido de outubro à março (primavera / verão) (Bianchini et al. 2015).

Figura 7 – Mapa do domínio da Mata Atlântica no Brasil (bege) e os remanescentes florestais atuais (verde), com destaque para o estado do Paraná. A área de estudo está indicada pelo círculo vermelho (adaptado de SOS Mata Atlântica e INPE 2013).



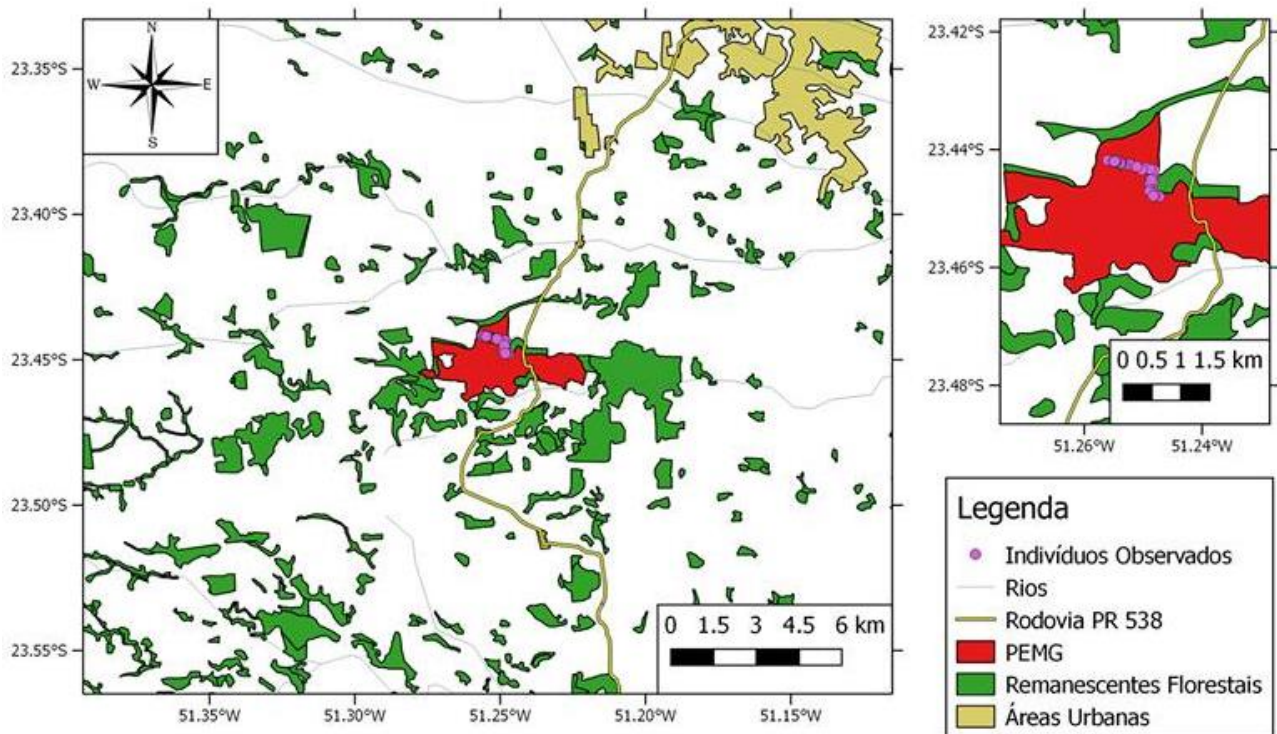
A formação florestal da Mata Atlântica do norte do Paraná é a Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 2012). Cinco fragmentos, além de uma área urbana com figueiras espaçadas (cidade de Londrina), foram estudados (Fig. 8).

Figura 8 – Fragmentos estudados na região de Londrina, PR, sul do Brasil. 1 – Parque Estadual Mata dos Godoy. 2 – Mata Doralice. 3 – Estação Ecológica Ferraz. 4 – Fazenda Alvorada. 5 – Ibiaci. 6 – Igapó (figueiras espaçadas em uma área de lazer na cidade de Londrina). Fonte: Quantum Gis 2.14 e Google Earth



1- Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) ($23^{\circ}27'06''\text{S}$ e $51^{\circ}15'09''\text{W}$). Está localizado no município de Londrina a, aproximadamente, 14 km do centro da cidade (Fig. 9). Possui 650 ha de floresta como Unidade de Conservação, mas com um total aproximado de 2800 ha de floresta contínua (Vicente 2006). Sua altitude varia de cerca de 600 m (platô) a 500 m (fundo de vale) (Vicente 2006). O PEMG apresenta boas condições de preservação, embora seja cercado por zonas agrícolas e cortado por uma rodovia. O dossel é constituído por árvores de 12 a 16 m de altura, com emergentes alcançando 35 m (Bianchini et al. 2015) ou mais, onde se incluem as figueiras. Foram registrados e acompanhados 31 indivíduos de *F. adhatodifolia* neste fragmento. Além desta espécie, são encontrados no PEMG: *F. citrifolia* Mill., *F. eximia* Schott., *F. luschnatiana* Miq., *F. crocata* Miq. (identificada como *F. trigonata* L.), *F. organensis* Miq. (Silva e Soares-Silva 2000).

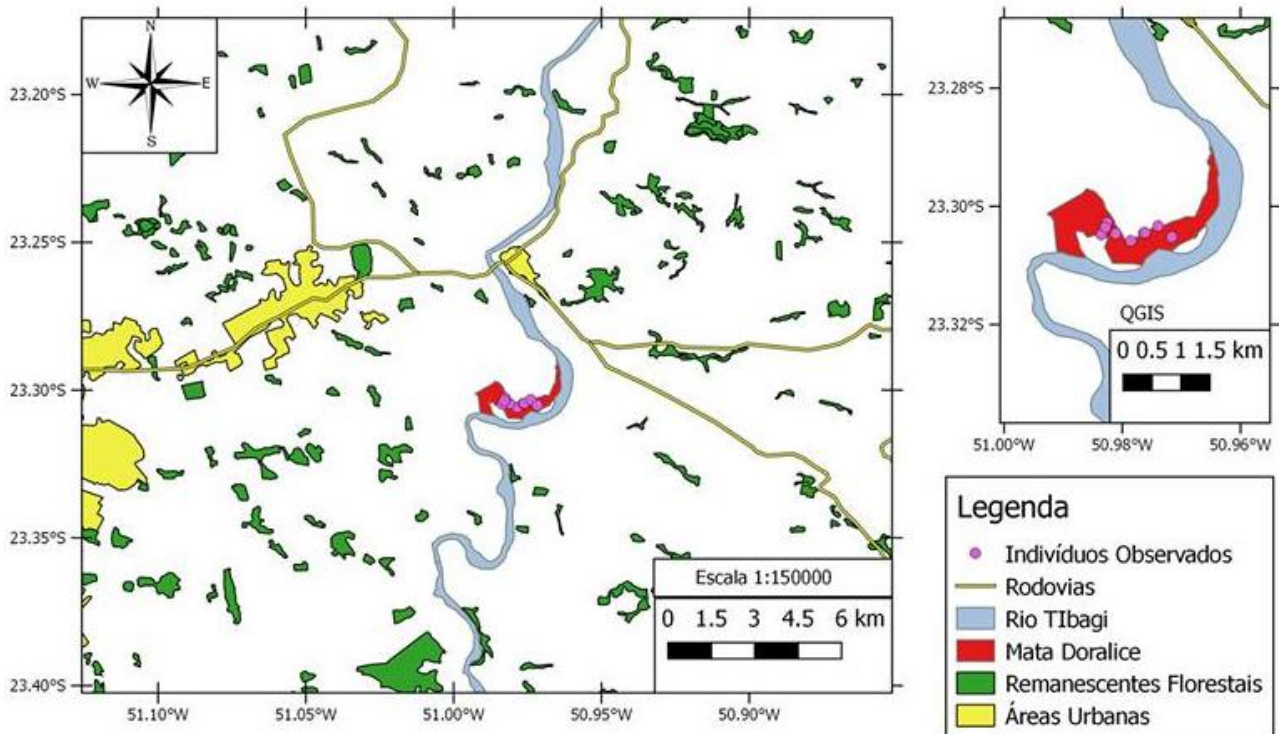
Figura 9 – Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) e seu entorno. Londrina, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica <http://mapas.sosma.org.br/dados/>



2- Mata Doralice (MD) ($23^{\circ}18'24''\text{S}$ e $50^{\circ}58'39''\text{W}$). Este fragmento pertence a fazenda Doralice, situada no município de Ibiporã, a 484 m de altitude (Fig. 10). Apesar de mantida pelos proprietários, não é uma Unidade de Conservação. É um fragmento com 170 ha, coberta em sua maior parte por floresta pouco alterada (Aguiar et al 2003). Os limites da floresta são plantações de monoculturas de um lado, e o rio Tibagi do outro, que pode alagar parte da área em época de chuvas intensas. Uma das famílias vegetais mais representativas é Moraceae (Soares-Silva et al. 1992; Carmo 1995). A floresta é bem estratificada, possuindo árvores emergentes com alturas superiores a

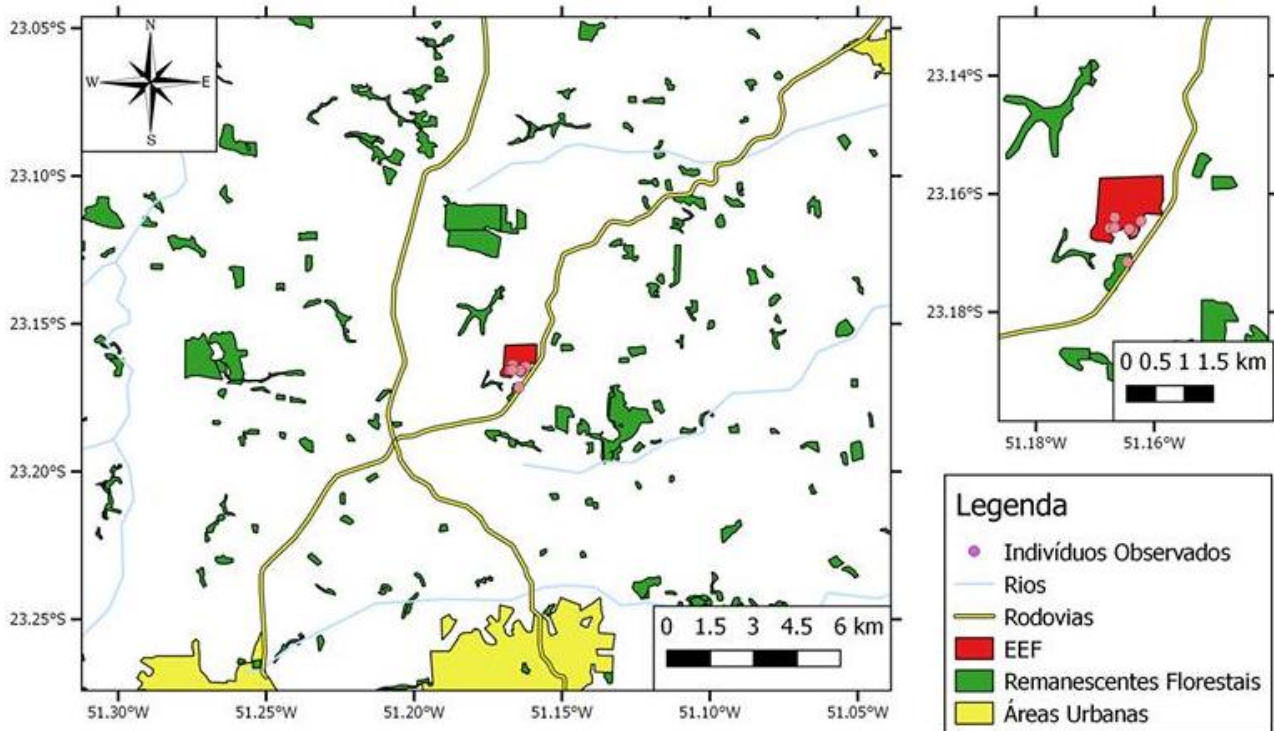
20 m (Carmo 1995) e sua estrutura florestal é similar ao PEMG (Dias et al. 2002). Dez indivíduos de *F. adhatodifolia* foram marcados e monitorados neste fragmento. Além desta espécie, foi observado a ocorrência de *F. citrifolia* e *F. eximia*.

Figura 10 – Mata Doralice e seu entorno, às margens do rio Tibagi, município de Ibiporã, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica <http://mapas.sosma.org.br/dados/>



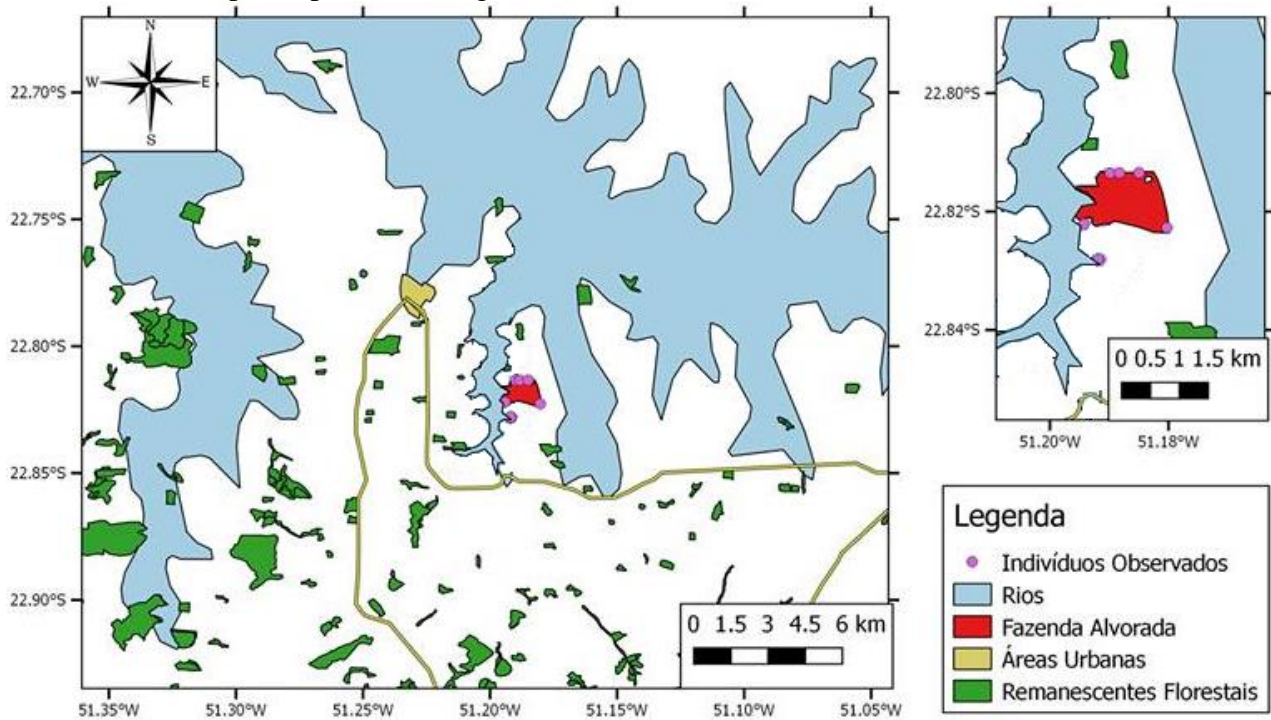
3- Estância Ecológica Ferraz (EEF) (23°09'40"S e 51°09'54"O). Está localizada no distrito da Warta, aproximadamente a 20 km do centro de Londrina, fazendo divisa com o município de Sertãoópolis (Fig. 11). A área, com cerca de 130 ha, possui floresta alterada, cercada por zona agrícola e altitude que varia de 530 m a 600 m. A EEF é usada para educação ambiental e lazer, fazendo parte do turismo rural da região (PML 2015), com trilhas, córrego, borda de mata degradada e presença de espécies invasoras. Possui espécimes vegetais centenários de espécies nativas (algumas árvores ultrapassam 30 m de altura). Sete indivíduos de *F. adhatodifolia* foram marcados, porém somente seis deles foram encontrados no início do estudo, e monitorados durante o ano inteiro. Na EEF também foi observada a ocorrência de *F. citrifolia*, *F. eximia* e *F. luschnatiana*.

Figura 11 – Estação Ecológica Ferraz, e seu entorno, Londrina, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica <http://mapas.sosma.org.br/dados/>



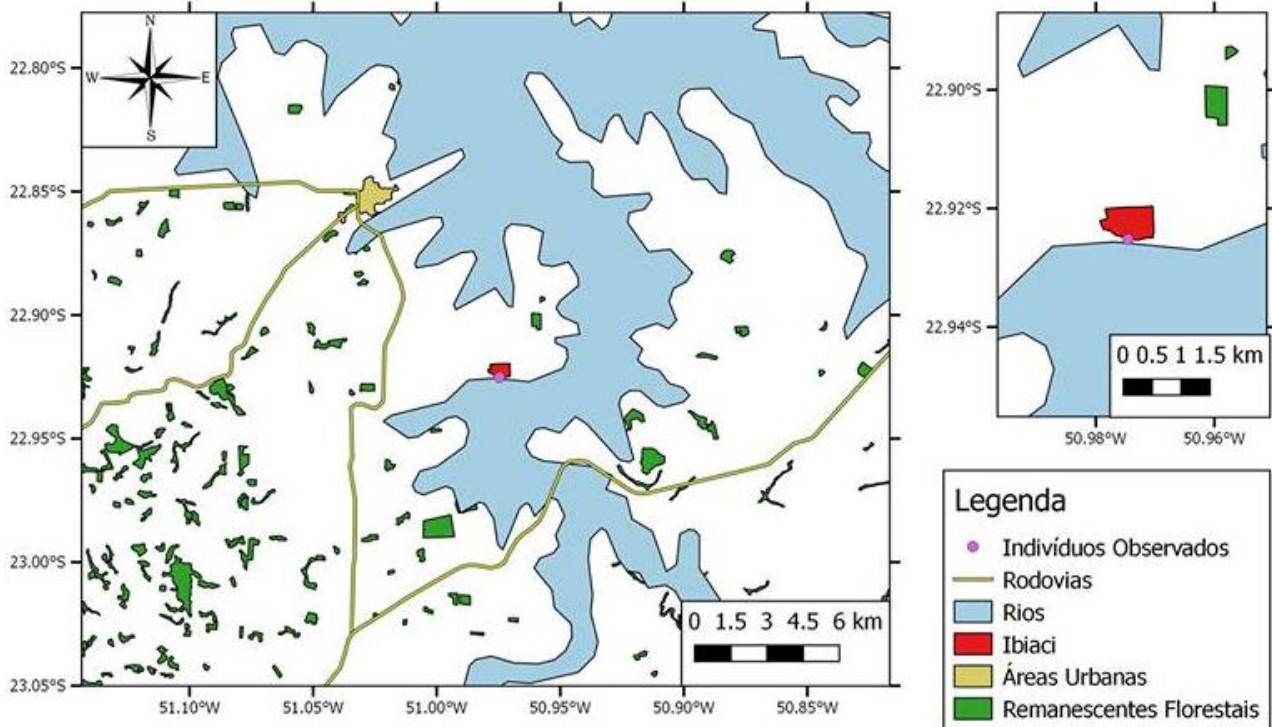
4- Fazenda Alvorada (FA) (22°49'06"S 51°11'11"O). A Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Mata do Cici pertence à Fazenda Alvorada (Fig. 12), que está localizada no município de Alvorada do Sul. Encontra-se, aproximadamente, a 50 km do município de Londrina. A área possui 128 ha de floresta secundária e altitude que varia de 340 m a 390 m. O fragmento é circundado por agricultura e pelo reservatório de Capivara. No passado existia corte seletivo de madeira, apesar de ainda manter alguns espécimes antigos. Áreas de clareira são comuns e o predomínio de cipós, principalmente nas bordas, dificulta o acesso ao interior da floresta. Um reflorestamento foi implantado em 2002, vizinho ao fragmento, e nele são encontrados alguns indivíduos jovens de *F. adhatodifolia*. Sete indivíduos adultos de *F. adhatodifolia* foram marcados e monitorados no estudo. Além desta espécie, foram observados indivíduos de *F. citrifolia*, *F. crocata* Miq., *F. eximia*, *F. luschnatiana* e *F. obtusiuscula* Miq.

Figura 12 – Fazenda Alvorada e seu entorno, Alvorada do Sul, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica <http://mapas.sosma.org.br/dados/>.



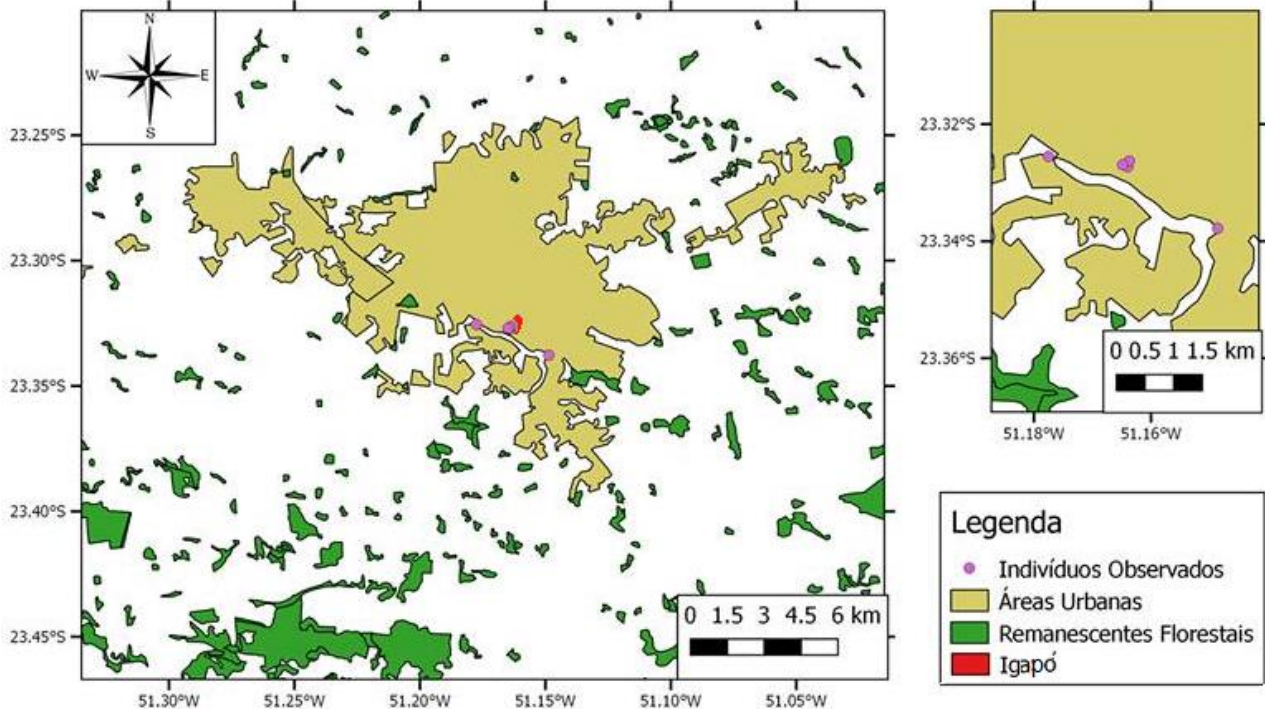
5- Ibiaci (IB) (22°55'21"S 50°58'29"O). O fragmento está localizado no distrito de Ibiaci (Fig. 13), município de Primeiro de Maio, a aproximadamente 40 km de Londrina. O fragmento possui 45 ha, com altitude variando de 345 m a 373 m. O fragmento de floresta secundária é circundado por agricultura e algumas casas. Possui árvores de grande porte e espessas, porém, sofre influência de borda, com muitas lianas e espécies invasoras. Apenas um único indivíduo de *F. adhatodifolia* foi encontrado na área percorrida. Além dessa espécie, *F. citrifolia* e *F. eximia* foram observadas no fragmento.

Figura 13 – Ibiaci e seu entorno, Primeiro de Maio, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica <http://mapas.sosma.org.br/dados/>



6 – Lago Igapó (IG) ($23^{\circ}19'38.23''S$ $51^{\circ}09'50.37''O$). O lago Igapó (Fig. 14) foi criado artificialmente na década de 60, como projeto paisagístico para a cidade de Londrina (Bortolo, 2010). As margens do lago e de seus afluentes são florestadas e constituem-se em áreas de lazer para a população. O solo é coberto predominantemente por gramíneas invasoras e muitas espécies arbóreas são exóticas. Os três indivíduos de *F. adhatodifolia* monitorados neste local estão localizados nas proximidades de corpos d'água. Além da espécie estudada, também foram observados *F. citrifolia* e *F. luschnatiana*.

Figura 14 – Lago Igapó e seu entorno, Londrina, Paraná, sul do Brasil. Fonte: Quantum Gis 2.14, Google Earth Pro, SOS Mata Atlântica <http://mapas.sosma.org.br/dados/>



Material e Métodos

Em todas as áreas foram realizadas buscas por *F. adhatodifolia*. Os indivíduos com DAP > 20 cm foram considerados aptos a desenvolver sicônios. Lapate (2009) não encontrou indivíduos com DAP < 35 cm produzindo sicônios mas, no presente estudo, um indivíduo com pouco mais de 20 cm de DAP reproduziu, no lago Igapó, em um ambiente com alta luminosidade. Estes indivíduos aptos foram contabilizados e georreferenciados (GPS Holux Sport 260) e os caminhos e distâncias percorridos em cada fragmento foram medidos com auxílio do programa Google Earth Pro. A densidade de figueiras dessa espécie, em cada área, foi expressa pelo método de densidade linear, onde é realizado um percurso qualquer dentro do fragmento, e os indivíduos existentes ao longo deste percurso são contados, e a extensão percorrida é estimada (Banack et al. 2002). Todos os fragmentos a uma distância de até 5 km no entorno de cada fragmento estudado foram medidos e contados através do Google Earth Pro. Esta distância foi utilizada devido às figueiras geralmente serem polinizadas por vespas emergindo de sicônios entre 1 a 4 km (Heer et al. 2015). Além do número total, foi contabilizado o número de fragmentos a essa distância com mais de 50 ha em área.

Durante o período de um ano, a produção de sicônios e fase reprodutiva (segundo Galil e Eisikowitch 1968) foram anotadas de cada indivíduo marcado e monitorado nos fragmentos amostrados. Apenas as fases B e D foram utilizadas na contagem e, para mensurar a produção de

sicônios por figueira, utilizou-se um ranking de cinco pontos, que considera a porcentagem da copa produzindo sicônios, similar a metodologia usada por outros autores (Spencer et al. 1996; Korine et al. 2000; Zhang et al. 2006).

Foram coletados de 15 a 30 sicônios, na fase D, por árvore em cinco safras nas áreas PEMG, MD e EEF, durante o período de um ano. Na FA e IG, 12 a 15 sicônios foram coletados, em duas safras cada, devido aos poucos indivíduos e safras encontrados. O fragmento IB não teve safras amostradas, pois o indivíduo monitorado não gerou safras. Os sicônios foram individualizados em frascos plásticos, tampados por tecido voil (Fig. 15) e mantidos em laboratório (ver Elias et al. 2007; Peng et al. 2010). As vespas de cada sicônio foram separadas por sexo e apenas as fêmeas identificadas em nível de espécie com auxílio de especialistas do Laboratório de Ecologia Vegetal da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (USP). Após isso, cada figo foi seccionado em quatro partes aproximadamente iguais, e em apenas um dos quartos, todos os organismos restantes no interior (basicamente vespas e aquênios) foram contados. O número total desses organismos foi estimado multiplicando-se por quatro o valor quantificado na seção.

Figura 15 – Recipientes tampados com tecido voil, onde os sicônios foram armazenados no Laboratório de Ecologia Vegetal da Universidade Estadual de Londrina. Fotos: Luiz Fernando Ferreira Pol



Aproveitando as safras coletadas, os invertebrados encontrados dentro dos sicônios foram separados por espécie e, quando não possível, por morfoespécies dos adultos e larvas.

Análise dos dados

Para descrever a distribuição das espécies de vespas nos sicônios foi utilizado a frequência de ocorrência (n° sicônios infestados \times 100/ n° de sicônios coletados). Foram realizados testes de correlação Spearman para verificar a influência das vespas polinizadoras sobre a produção de sementes, e a influência das vespas não polinizadoras sobre as sementes e vespas polinizadoras.

Com o objetivo de testar uma possível interferência do tamanho dos fragmentos na produção de semente e vespas, foi realizada comparação entre estas variáveis e as áreas através de GLM (Modelos Lineares Generalizados) Binomial Negativo, pois, a sobredispersão dos dados é comum em análises entomológicas (Demétrio et al. 2014). Após isso, os dados obtidos foram comparados com um modelo nulo, através de LRT (teste da razão de verossimilhança). Foi testada a hipótese nula de que os fragmentos não influenciam a produção dos organismos nos sicônios, com nível de significância de 5%. Todas as análises foram efetuadas no programa R e com os pacotes MASS, hnp e pctl.

Referências Bibliográficas

- Addicott JF, Bronstein J, Kjellberg F (1990) Evolution of mutualistic life-cycles: yucca moths and fig wasps. In: Gilbert F (ed) Insect life cycles: genetics, evolution and co-ordination. Springer, Londres, pp 143-161
- Aguiar LM, Reis NR, Ludwig G, Rocha VJ (2003) Dieta, área de vida, vocalizações e estimativas populacionais de *Alouatta guariba* em um remanescente florestal no norte do estado do Paraná. Neotrop Primates 11:78-86
- Ahmed S, Compton SG, Butlin RK, Gilmartin PM (2009) Wind-borne insects mediate directional pollen transfer between desert fig trees 160 kilometers apart. PNAS 106:20342-20347.
- Anstett M-C, Bronstein JL, Hossaert-McKey M (1996). Resource allocation: a conflict in the fig/fig wasp mutualism? J Evol Biol 9:417-426
- Anstett M-C, McKey MH, Mckey D (1997) Modeling the persistence of small populations of strongly interdependent species: figs and fig wasps. Conserv Biol 11:204-213
- Anstett M-C, Michaloud G, Kjellberg F (1995) Critical population size for fig/wasp mutualism in a seasonal environment: effect and evolution of the duration of female receptivity. Oecologia 103:453-461
- Baijnath H, Ramcharun S (1983) Aspects of pollination and floral development in *Ficus capensis* Thunb (Moraceae). Bothalia 14:883-888
- Banack SA, Horn MH, Gawlicka A (2002) Disperser vs. establishment-limited distribution of a riparian fig tree (*Ficus insipida*) in a Costa Rican Tropical Rain Forest. Biotropica 34:232-243
- Barker NP (1985) Evidence of a volatile attractant in *Ficus ingens* (Moraceae). Bothalia 15:607-611
- Basset Y, Novotny V (1999) Species richness of insect herbivore communities on *Ficus* in Papua New Guinea. Biol J of the Linn Soc 67:477-499
- Basset Y, Novotny V, Weiblen G (1997) *Ficus*, a resource for arthropods in the tropics, with particular reference to New Guinea. In: Watt AD, Stork NE, Hunter MD (eds) Forests and insects. Chapman & Hall, Londres, pp 341-361

- Bawa KS (1990) Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annu Rev Ecol Syst* 21:399-422
- Berg CC (1990) Reproduction and evolution in *Ficus* (Moraceae): traits connected with the adequate rearing of pollinators. *Mem New York Bot Gard* 55:169-185
- Berg CC (2006) The subdivision of *Ficus* subgenus *Pharmacosycea* section *Pharmacosycea* (Moraceae) *Blumea* 51:147-151
- Berg CC, Villavicencio X (2004) Taxonomic studies on *Ficus* (Moraceae) in the West Indies, extra-Amazonian Brazil, and Bolivia. *Ilicifolia* 5:1-177
- Berg CC, Wiebes JT (1992) African fig trees and fig wasps. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 298 pp
- Bianchini E, Emmerick JM, Messetti AVL, Pimenta JA (2015) Phenology of two *Ficus* species in seasonal semi-deciduous forest in Southern Brazil. *J Biol* 75:206-214
- Bianchini E, Popolo RS, Dias MC, Pimenta JA (2003) Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. *Acta Bot Bras* 17:405-419
- Bleher B, Potgieter CJ, Johnson DN, Böhning-Gaese K (2003) The importance of figs for frugivores in a South African coastal forest. *J Trop Ecol* 19:375-386
- Blondeau R, Crane JC (1950) Further studies on the chemical induction of parthenocarpy in the calimyrna fig. *Plant Physiol* 25:158-168
- Borcherding R, Paarmann W, Nyawa SB, Bolte H (2000) How to be a fig beetle? Observations of ground beetles (Col., Carabidae) associated with fruitfalls in a rain forest of Borneo. *Ecotropica* 6:169-180
- Bortolo CO (2010) Lago Igapó em Londrina – PR: uma leitura das diferentes formas de produção do espaço da cidade. *Rev. Percurso*, 2(2):47-72 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/revpercurso.v2i2.10621>
- Bronstein J (1987) Maintenance of species-specificity in a Neotropical fig – pollinator wasp mutualism. *Oikos* 48:39-46
- Bronstein JJ, Gouyon P-H, Gliddon C, Kjellberg F, Michaloud G (1990) The ecological consequences of flowering asynchrony in monoecious figs: a simulation study. *Ecology* 71:2145-2156
- Bouček Z (1993) The genera of chalcidoid wasps from *Ficus* fruit in the new world. *J Nat Hist* 27:173-217
- Carauta JPP, Diaz BE (2002) Figueiras no Brasil. Editora da UFRJ, Rio de Janeiro
- Carmo MRB (1995) Levantamento florístico e fitossociológico do remanescente florestal na Fazenda Doralice, Ibitiporã, PR. Monografia de conclusão do curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 53 pp.

- Chen Y-R, Chou L-S, Wu W-J (2001) Regulation of fig wasps entry and egress: the role of ostiole of *Ficus microcarpa* L. *Form Entomol* 21:171-182
- Chen C, Song Q, Proffit M, Bessière J-M, Zongbo L, Hossaert-McKey M (2009) Private channel: a single unusual compound assures specific pollinator attraction in *Ficus semicordata*. *Funct Ecol* 23:941-950
- Coelho LFM, Ribeiro MC, Pereira RAS (2014) Water availability determines the richness and density of fig trees within Brazilian semideciduous forest landscapes. *Acta Oecol* 57:109-116
- Compton SG (1993) One way to be a fig. *Afr Entomol* 1:151-158
- Compton SG, Robertson HG (1988) Complex interactions between mutualisms: ants tending homopterans protect fig seeds and pollinators. *Ecology* 69:1302-1305
- Compton SG, Craig AJFK, Waters IWR (1996) Seed dispersal in an African fig tree: birds as high quantity, low quality dispersers? *J Biog* 23:553-563
- Compton SG, Rasplus J-Y, Ware AB (1994) African fig wasp parasitoid communities. In: Hawkins BA, Sheeham W (eds) *Parasitoid community ecology*. Oxford University Press, Oxford, pp 343-368
- Compton SG, Ellwood MDF, Davis AJ, Welch K (2000) The flight heights of Chalcid Wasps (Hymenoptera, Chalcidoidea) in a Lowland Bornean rain forest: fig wasps are the high fliers. *Biotropica*, 32:515-522
- Condit IJ (1947) *The fig*. Chronica Bot Co, New York
- Cook JM, Segar S (2010) Speciation in fig wasps. *Ecol Entomol* 35:54-66
- Coronado ENH, Dexter KG, Poelchau MF, Hollingsworth PM, Phillips OL, Pennington RT (2014) *Ficus insipida* subsp. *insipida* (Moraceae) reveals the role of ecology in the phylogeography of widespread Neotropical rain forest tree species. *J Biogeogr* 41:1697-1709
- Cruaud A, Ronsted N, Chantarasuwan B, Chou LS, Clement WL, Couloux A, Cousins B, Genson G, Harrison RD, Hanson PE, Hossaert-McKey M, Jabbour-Zahab R, Joussetin E, Kerdelhué C, Kjellberg F, Lopez-Vaamonde C, Peebles J, Peng Y-Q, Pereira RAS, Schramm T, Ubaidillah R, van Noort S, Weiblen GD, Yang D-R, Yodpinyanee A, Libeskind-Hadas R, Cook JM, Rasplus J-Y, Savolainen V (2012) An extreme case of plant-insect codiversification: figs and fig-pollinating wasps. *Syst Biol* 61:1029-1047
- Costa PC (2015) *Filogenia de figueiras neotropicais (Ficus: Moraceae)*. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Ribeirão Preto, 139 pp
- Datwyler SL, Weiblen GD (2004) On the origin of the fig: phylogenetic relationships of Moraceae from ndhF sequences. *Am J Bot* 91:767-777
- Dean W (1996) *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira*. Editora Schwarcz, São Paulo

- Dejean A, Bourgoïn T, Gibernau M (1997) Ant species that protect figs against other ants: result of territoriality induced by a mutualistic homopteran. *Ecoscience* 4:446-453
- Demétrio CGB, Hinde J, Moral RA (2014) Models for overdispersed data in entomology. In: Ferreira CP, Godoy WAC (eds) *Ecological modelling applied to entomology*. Springer International Publishing, Switzerland, pp 219-259
- Dias MC, Vieira AOS, Paiva MRC (2002) Florística e fitossociologia das espécies arbóreas das florestas da bacia do rio Tibagi In: Medri ME, Bianchini E, Shibatta AO, Pimenta JA (eds) *A bacia do Rio Tibagi*. Edição dos Editores, Londrina, pp 109-124
- Elias LG, Ó VT, Farache FHA, Pereira RAS (2007) Efeito de vespas não-polinizadoras sobre o mutualismo *Ficus*-vespas de figos. *Iheringia Ser Zool* 97:253-256
- Elias LG, Teixeira SP, Kjellberg F, Pereira RAS (2012) Diversification in the use of resources by Idarnes species: bypassing functional constraints in the fig-fig wasp interaction. *Biol J Linn Soc* 106:114-122
- Eshiamwata GW, Berens DG, Bleher B, Dean WRJ, Böhning-Gaese K (2006) Bird assemblages in isolated *Ficus* trees in Kenyan farmland. *J Trop Ecol* 22:723-726
- Foster RB, Brokaw NVL (1982) Structure and history of the vegetation of Barro Colorado Island. In: Leigh EG Jr, Windsor DM (eds) *The ecology of a tropical forest: seasonal rhythms and long-term changes*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, pp 67-81
- Galetti M, Pedroni F (1994) Seasonal diet of capuchin monkeys (*Cebus apella*) in a semideciduous forest in South-East Brazil. *J Trop Ecol* 10:27-39
- Galil J, Eisikowitch D (1968) On the pollination ecology of *Ficus sycomorus* in East Africa. *Ecology*, 49:259-269
- Galil J, Eisikowitch D (1969) Further studies on the pollination ecology of *Ficus sycomorus* L. (Hymenoptera, Chalcidoidea, Agaonidae). *Tijdschr Entomol* 112:1-13
- Galindo-González J, Guevara S, Sosa VJ (2000) Bat- and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. *Conserv Biol* 14:1693-1703
- Gibernau M, Hossaert-McKey M (1998) Are olfactory signals sufficient to attract fig pollinators? *Ecoscience* 5:306-311
- Gibernau M, Hossaert-McKey M, Anstett M-C, Kjellberg F (1996) Consequences of protecting flowers in a fig: a one-way trip for pollinators? *J Biog* 23:425-432
- Greeff JM, Whiting MJ (1999) Dispersal of namaqua fig (*Ficus cordata cordata*) seeds by the augarabies flat lizard (*Platysaurus broadleyi*). *J Herpetol* 33:330-334
- Grison L, Edwards AA, Hossaert-McKey M (1999) Interspecies variation in floral fragrances emitted by tropical *Ficus* species. *Phytochemistry* 52:1293-1299
- Grison-Pigé L, Bessièrre J-M, Hossaert-McKey M (2002) Specific attraction of fig-pollinating wasps: role of volatile compounds released by tropical figs. *J Chem Ecol* 28:283-295

- Hao G-Y, Sack L, Wang A-Y, Cao K-F, Goldstein G (2010) Differentiation of leaf water flux and drought tolerance traits in hemiepiphytic and non-hemiepiphytic *Ficus* tree species. *Funct Ecol* 24:731-740
- Harris F, Johnson SD (2004) The consequences of habitat fragmentation for plant–pollinator mutualisms. *Intern J Trop Ins Sci* 24:29-43
- Harrison RD (2005) Figs and the diversity of tropical rainforests. *Bioscience* 55:1053-1064
- Harry M, Solignae M, Lachaise D (1996) Adaptive radiation in the afrotropical region of the paleotropical genus *Lissocephala* (Drosophilidae) on the pantropical genus *Ficus* (Moraceae). *J Biogeogr* 23:543-552
- Heer K, Kalko EKV, Albrecht L, Garcia-Villacorta R, Staeps FC, Herre EA, Dick CW (2015) Spatial scales of genetic structure in free-standing and strangler figs (*Ficus*, Moraceae) inhabiting Neotropical forests. *Plos One* 10 (7):0133581
- Herre, EA (1999) Laws governing species interactions? Encouragement and caution from figs and their associates. In: Keller L (ed) *Levels of selection in evolution*. Princeton University Press, Princeton, pp 209-237
- Herre EA, Jandér KC, Machado CA (2008) Evolutionary ecology of figs and their associates: recent progress and outstanding puzzles. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 39:439–458
- Herre EA, Machado CA, Bermingham E, Nason JD, Windsor DM, McCafferty SS, Van Houten W, Bachmann K (1996) Molecular phylogenies of figs and their pollinator wasps. *J Biogeogr* 23:521-530
- Horn MH (1997) Evidence for dispersal of fig seeds by the fruit-eating characid fish *Brycon guatemalensis* Regan in a Costa Rican tropical rain forest. *Oecologia* 109:259-264
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012) *Manual técnico da vegetação brasileira*. IBGE, Rio de Janeiro, 271p.
- Janzen D (1979a) How many babies do figs pay for babies? *Biotropica* 11:48-50
- Janzen D (1979b) How many parents do the wasps from a fig have? *Biotropica* 11:127-129
- Janzen D (1979c) How to be a fig. *Annu Rev Ecol Sys* 10:13–51
- Jordano P (1983) Fig-seed predation and dispersal by birds. *Biotropica* 15:38-41
- Jousselin E, Kjellberg F, Herre EA (2004) Flower specialization in a passively pollinated monoecious fig: a question of style and stigma? *Intern J Plant Sci* 165:587-593
- Kearns CA, Inouye DW, Waser N (1998) Endangered mutualisms: the conservation of plant–pollinator interactions. *Annu Rev Ecol Syst* 29:83–112
- Khadari B, Gibernau M, Anstett M-C, Kjellberg F, Hossaert-McKey M (1995) When figs wait for pollinators: the length of fig receptivity. *Am J Bot* 82:992-999

- Kirika JM, Bleher B, Böhning-Gaese K, Chira R, Farwig N (2008) Fragmentation and local disturbance of forests reduce frugivore diversity and fruit removal in *Ficus thonningii* trees. *Basic and Appl Ecol* 9:663-672
- Kjellberg F, Jousselein E, Bronstein J, Patel A, Yokoyama Y, Rasplus JY (2001) Pollination mode in fig wasps: the predictive power of correlated traits. *Proc R Soc Lond B* 268:1113–1121
- Korine C, Kalko EKV, Herre EA (2000) Fruit characteristics and factors affecting fruit removal in a Panamanian community of strangler figs. *Oecologia* 123:560-568
- Lambert F (1990) Some notes on fig-eating by arboreal mammals in Malaysia. *Primates* 31:453-458
- Lapate ME (2009) Frugivoria de *Ficus* (Moraceae) por aves em paisagens com diferentes níveis de fragmentação florestal no Estado de São Paulo. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto
- Leitão Filho HF (1987) Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil. *IPEF* 35:41-46
- Li Z, Yang P, Peng Y, Yang D (2009) Ultrastructure of antennal sensilla of female *Ceratosolen solmsi marchali* (Hymenoptera: Chalcidoidea: Agaonidae: Agaoninae). *Can Entomol* 141:463-477
- Lopez-Vaamonde C, Wikström N, Kjer KM, Weiblen GD, Rasplus JY, Machado CA, Cook JM (2009) Molecular dating and biogeography of fig-pollinating wasps. *Mol Phylog and Evol* 52:715-726
- Lovejoy TE (1980) Discontinuous wilderness: minimum areas for conservation. *Parks* 5:5-13
- Martinelli G, Valente ASM, Maurenza D, Kutschenko C, Judice DM, Silva DS, Fernandez EP, Martins EM, Barros FSM, Sfair JC, Santos Filho LAF, Abreu MB, Moraes MA, Monteiro NP, Pietro PV, Fernandes RA, Hering LO, Messina T, Penedo TSA (2013) Avaliações de risco de extinção de espécies da Flora Brasileira. In: Martinelli G, Moraes MA (eds) Livro Vermelho da Flora do Brasil, Rio de Janeiro, pp 60-103
- Martins R (1995) História do Paraná. Fund Cult de Curitiba, Curitiba
- Marussich WA, Machado CA (2007) Host-specificity and coevolution among pollinating and nonpollinating New World fig wasps. *Mol Ecol* 16:1925-1946
- McLeish M, van Noort S (2012) Codivergence and multiple host species use by fig wasp populations of the *Ficus* pollination mutualism. *BMC Evol Biol* 12:1471-2148
- McLeish M, Guo D, van Noort S, Midgley G (2011) Life on the edge: rare and restricted episodes of a pan-tropical mutualism adapting to drier climates. *New Phytol*, 191:210–222
- Michaloud G, Carriere S, Kobbi M (1996) Exceptions to the one:one relationship between African fig trees and their fig wasp pollinators: possible evolutionary scenarios. *J Biogeogr* 23:513-520
- Michaloud G, Michaloud-Pelletier S, Wiebes J T, Berg CC (1985) The co-occurrence of two pollinating species of fig wasp and one species of fig. *Flower Ecol Proceed C* 88:93-119

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2013) Biomas: Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>>.

Moe AM, Rossi DR, Weiblen GD (2011) Pollinator sharing in dioecious figs (*Ficus*: Moraceae). *Biol J Linn Soc* 103:546-558

Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858

Nason JD, Herre EA, Hamrick JL (1998) The breeding structure of a tropical keystone plant resource. *Nature* 391:685-687

Nazareno AG, Silva RBQ, Pereira RAS (2007) Fauna de Hymenoptera em *Ficus* spp. (Moraceae) na Amazônia Central, Brasil. *Iheringia S Zool* 97:441-446

Nefdt RJC, Compton SG (1996) Regulation of seed and pollination production in the fig-fig wasp mutualism. *J Anim Ecol*, 65:170-182

Neto SR, Santos A, Pelissari G, Pederneiras LC, Maurenza D, Barros FSM, Sfair JC, Bovini MG (2013) Moraceae. In: Martinelli G, Moraes MG (eds) Livro Vermelho da Flora do Brasil. Andrea Jakobsson, Rio de Janeiro, pp 706-707

Otero JT, Ackerman JD (2002) Flower style length and seed production in two species of *Ficus* (Moraceae) in Puerto Rico. *Caribb J Sci* 38:249-251

Paarmann W, Adis J, Stork N, Gutzmann B, Stumpe P, Staritz B, Bolte H, Küppers S, Holzkamp K, Niers C, Fonseca CRV (2001) The structure of ground beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) at fig fruit falls (Moraceae) in a terra firme rain forest near Manaus (Brazil). *J Trop Ecol* 17:549-561

Palmieri L, Farache FHA, Pereira RAS, Hansson C (2013) New records of *Paracrias ashmead* (Hymenoptera, Eulophidae) as parasitoids on weevil larvae (Coleoptera, Curculionidae) in Brazil, with the description of a new species. *Iheringia S Zool* 103:313-317

Patel A (1997) Phenological patterns of *Ficus* in relation to other forest trees in southern India. *J Trop Ecol* 13:681-695

Patiño S, Herre EA, Tyree MT (1994) Physiological determinants of *Ficus* fruit temperature and implications for survival of pollinator wasp species: comparative physiology through an energy budget approach. *Oecologia* 100:13-20

Pederneiras LC (2014) Filogenia, revisão taxonômica e biogeografia de *Ficus* sect. *Pharmacosycea* (Moraceae). Instituto de Botânica, São Paulo

Pederneiras LC, Romaniuc-Neto S, Mansano VF (2015) Molecular phylogenetics of *Ficus* section *Pharmacosycea* and the description of *Ficus* subsection *Carautaea* (Moraceae). *Syst Bot* 40:504-509

Pelissari G, Neto SR (2013) *Ficus* (Moraceae) da Serra da Mantiqueira, Brasil. *Rodriguésia* 64:91-111

Peng Y-Q, Compton SG, Yang D-R (2010) The reproductive success of *Ficus altissima* and its pollinator in a strongly seasonal environment: Xishuangbanna, Southwestern China. *Plant Ecol* 209:227-236

Pereira RAS, Semir J, Menezes Jr AO (2000) Pollination and other biotic interactions in figs of *Ficus eximia* Schott (Moraceae). *Rev Bras Bot* 23:217-224

PML – Prefeitura Municipal de Londrina (2015) Disponível em: http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1090&Itemid=1068&limitstart=3. Acesso em: 17 de Dezembro de 2015.

Rasplus JY (1996) The one-to-one species specificity of the *Ficus*-Agaoninae mutualism: how casual? In: Maesen LJG, Burgt XM, Medenbach de Rooy JM (eds) *The Biodiversity of African Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 639-649

Ricklefs REA (2010) *A economia da natureza*. 6ª ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro

Roberts JT, Heithaus ER (1986) Ants rearrange the vertebrate-generated seed shadow of a neotropical fig tree. *Ecology* 67:1046-1051

Romaniuc Neto S, Carauta JPP, Vianna Filho MDM, Pereira RAS, Ribeiro JELS, Machado AFP, Santos A, Pelissari G, Pederneiras LC (2016). Moraceae. In: *Lista de espécies da flora do Brasil*. Jardim Botânico, Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/>. Acesso em 6 Abr 2016.

Schatz B, Hossaert-McKey M (2003) Interactions of the ant *Crematogaster scutellaris* with the fig/fig wasp mutualism. *Ecol Entomol* 28:359-368

Schatz B, Kjellberg F, Nyawa S, Hossaert-McKey M (2008) Fig wasps: a staple food for ants on *Ficus*. *Biotropica* 40:190-195

Shanaham M, Sanson SO, Compton SG, Corlett R (2001) Fig-eating by vertebrate frugivores: a global review. *Biol Rev* 76:529-572

Silman MR, Krisel C (2006) Getting to the root of tree neighbourhoods: hectare-scale root zones of a neotropical fig. *J Trop Ecol* 22:727-730

Silva FC, Soares-Silva LH (2000) Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR, Brazil. *Edinb J Bot* 57:107-120

Soares FS, Medri ME (2002) Alguns aspectos da colonização da bacia do rio Tibagi. In: Medri ME, Bianchini E, Shibatta AO, Pimenta JA (eds) *A bacia do Rio Tibagi*. Edição dos Editores, Londrina, pp 69-80

Soares-Silva LH, Barroso GM (1992) Fitossociologia do estrato arbóreo da porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina – PR, Brasil. pp 101-112, In: *Anais do 8º Congresso SBPC*, Campinas.

Soares-Silva LH; Bianchini E, Fonseca EP, Dias MC, Medri ME, Zangaro-Filho W (1992) Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ciliares da bacia do rio Tibagi. 1. Fazenda Doralice, Iporã, PR. pp 199-206, In: Anais 2º Congresso Nacional de Essências Nativas, São Paulo

SOS Mata Atlântica, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013) Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2011–2012, relatório técnico. São Paulo. Disponível em: < http://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2013/06/atlas_2011-2012_relatorio_tecnico_2013final.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2015

Souza PP (2002) *Ficus* (Moraceae): observações fenológicas de algumas espécies. Albertoa Sér. Urticineae (Urticales) 9:57-62

Souza PP (2009) Moraceae Gaudich. de Viçosa, Minas Gerais, Brasil: florística e anatomia foliar de *Ficus mexiae* Standl. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

Spencer H, Weiblen G, Flick B (1996) Phenology of *Ficus variegata* in a seasonal wet tropical forest at Cape Tribulation, Australia. J Biogeogr 23:467-475

Sugiura S, Yamazaki K (2004) Moths boring into *Ficus syconia* on Iriomote Island, south-western Japan. Entomol Sci 7:113-118

Tabarelli M, Silva JMC, Gascon C (2004) Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. Biodiv Conserv 13:1419-1425

van Noort S (2004) How fig trees are pollinated: the ultimate challenge. Velds Flora 90(1):13-15

Verkerke W (1989) Structure and function of the fig. Experientia 45:612-622

Vicente RF (2006) O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD (org) Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy. Itedes, Londrina, pp 13-18

Walker JS (2007) Dietary specialization and fruit availability among frugivorous birds on Sulawesi. Ibis 149:345-356

Walter DE (2000) First record of a fig mite from the Australian Region: *Paratarsonemella giblindavisi* sp.n. (Acari: Tarsonemidae). Austr J Entomol 39:229-232

Wang G, Compton SG, Chen J (2013) The mechanism of pollinator specificity between two sympatric fig varieties: a combination of olfactory signals and contact cues. Ann Bot 111:173-181

Wang R-W, Yang C-Y, Zhao G-F, Yang J-X (2005) Fragmentation effects on diversity of wasp community and its impact on fig/fig wasp interaction in *Ficus racemosa* L. J Integr Plant Biol 47:20-26

Ware AB, Compton SG (1992) Breakdown of pollinator specificity in an African fig tree. Biotropica 24:544-549

Ware AB, Compton SG (1994) Responses of fig wasps to host plant volatile cues. J Chem Ecol 20:785-802

- Ware AB, Kaye PT, Compton SG, van Noort S (1993) Fig volatiles: their role in attracting pollinators and maintaining pollinator specificity. *Plant Syst Evol* 186:147-156
- Weiblen GD (2004) Correlated evolution in fig pollination. *Syst Biol* 53:128-139
- Weiblen GD, Bush GL (2002) Speciation in fig pollinators and parasites. *Mol Ecol* 11:1573-1578
- Weldeln MC, Runkle JR (2000) Nutritional values of 14 fig species and bat feeding preferences in Panama. *Biotropica* 32:489-501
- West SA, Herre EA, Windsor DM, Green PRS (1996) The ecology and evolution of the New World non-pollinating fig wasp communities. *J Biog* 23:447-458
- Whiting MJ, Greeff JM (1997) Facultative frugivory in the cape flat lizard, *Platysaurus capensis* (Sauria: Cordylidae). *Copeia* 4:811-818
- Yu H, Compton SG (2012) Moving your sons to safety: galls containing male fig wasps expand into the centre of figs, away from enemies. *Plos One* 7:e30833, doi:10.1371/journal.pone.0030833
- Yu DW, Ridley J, Jouselin E, Herre EA, Compton SG, Cook JM, Moore JC, Weiblen GD (2004) Oviposition strategies, host coercion and the stable exploitation of figs by wasps. *Proc R Soc Lond B* 271:1185-1195
- Zavadna M, Compton SG, Biere A, Gilmartin PM, van Damme MM (2005) Putting your sons in the right place: the spatial distribution of fig wasp offspring inside figs. *Ecol Entomol* 30:210-219
- Zhang G, Song Q, Yang D (2006) Phenology of *Ficus racemosa* in Xishuangbanna, Southwest China. *Biotropica* 38:334-341
- Zhen W-Q, Huang D-W, Xiao J-H, Yang D-R, Zhu C-D, Xiao H (2005) Ovipositor length of three Apocryta species: effect on oviposition behavior and correlation with syconial thickness. *Phytoparasitica* 33:113-120

Efeitos da fragmentação florestal sobre a fenologia de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. e na interação com vespas

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista: *Plant Ecology*, para a qual será submetido.

POL, Luiz Fernando Ferreira. “Efeitos da fragmentação florestal sobre a fenologia de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. e na interação com vespas” 2016. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, 2016.

Resumo

Ficus adhatodifolia Schott ex Spreng. faz parte de um gênero de plantas conhecido por possuir interações com diversos organismos. Considerando a fragmentação florestal da região neotropical e um possível desaparecimento da população dessa espécie, a ecologia local poderá ser alterada negativamente. Foram levantadas as perguntas: (i) a fragmentação tornou a população de *F. adhatodifolia* insuficiente para manter indivíduos reprodutivos o ano todo? (ii) a produção média de sementes e abundância de vespas polinizadoras por sicônio é maior nos maiores fragmentos florestais? Cinquenta e seis indivíduos de *F. adhatodifolia*, em cinco fragmentos de diferentes tamanhos e uma área urbana foram acompanhadas durante um ano e, quando confirmada a presença de sicônios na fase D, estes foram coletados e analisados para comparação da produção de vespas polinizadoras, vespas não polinizadoras e sementes entre as áreas com o uso de Modelos Lineares Generalizados (GLM) Binomial Negativo. O número médio de safras de sicônios na fase D foi baixa ($0,52 \pm 0,22$) devido a altas taxas de aborto (mais de 50%). O Parque Estadual Mata dos Godoy, maior e mais conservada área, possui maior número de fragmentos próximos (5 km ou menos), maior densidade linear de *F. adhatodifolia*, sua população frutificou na maior parte do ano, e dentro dos sicônios foram registradas mais espécies de invertebrados (10). As vespas polinizadoras *Tetrapus* sp. estavam presentes em mais de 95% de todos os sicônios, por isso, o mutualismo *Ficus*-polinizadoras não se perdeu, apesar de os menores fragmentos não serem capazes de manter indivíduos de *F. adhatodifolia* reprodutivos durante o ano todo, precisando de polinizadores vindos de outros fragmentos. Foi observado que a abundância de vespas polinizadoras e não polinizadoras muda entre as áreas (LRT $p < 0,001$; LR stat (χ^2) = 56,9; $n = 369$) e (LRT $p = 0,006$; LR stat (χ^2) = 15,2; $n = 369$), respectivamente, mas o tamanho dos fragmentos não parece ser o fator determinante. Vespas polinizadoras foram mais abundantes nos fragmentos de tamanho médio e menos abundantes nos menores fragmentos. Outros fatores não avaliados no trabalho (microclima, uso de pesticidas, etc.) podem influenciar esse mutualismo.

Palavras-chave: Floresta neotropical; Mutualismo; Polinizadores; Sicônio.

POL, Luiz Fernando Ferreira. “Forest fragmentation effects on the *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. phenology and interaction with wasps” 2016. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, 2016.

Abstract

Ficus adhatodifolia Schott ex Spreng. belongs to a genus of plants known for the diversity of interactions with other organisms, and for that, it has the capacity of negatively alter the local ecology if their population disappear. Two questions were made for this study: (i) the fragmentation led to an insufficient *F. adhatodifolia* population for maintenance of reproductive individuals along all the year? (ii) the mean seed production and the mean pollinator wasps abundance per syconium is higher on the larger Forest fragments? Fifty six individuals of *F. adhatodifolia* trees were visited in a year period in five fragments of different sizes and one urban area. When presence of fase D syconium were confirmed, they where collected and analised for comparison of pollinating wasps, non pollinating wasps and seeds between sites, with Generalized Linear Models (GLM) Negative Binomial. The mean number of crops per tree on D phase was 0.52 (\pm 0.22) year round, mainly because of the high abortion rate (over 50%). In Godoy Forest State Park (GFSP), the larger and more conservated area of the region, has more near forest fragments (5 km or less), greater linear density of *F. adhatodifolia*, with a population of this plant fruiting more times through the year, more invertebrate species were found inside syconium (10). The pollinator wasps *Tetrapus* sp. were found in more than 95% of all syconium and for that, *Ficus*-pollinator mutualism was not lost, despite although smaller fragments are not capable of maintain reproductive individuals all the year, needing pollinator wasps from other fragments. The abundance of pollinator wasps and non pollinator wasps changes among fragments (LRT $p < 0.001$, LR stat (χ^2) = 56.9, $n = 369$) and (LRT $p = 0.006$, LR stat (χ^2) = 15.2, $n = 369$), respectively, but the size of fragments do not seems to be a determinant factor. Pollinator wasps were more abundant in the average fragments and less abundant in the smallest areas. Other factor not included on this paper (microclimate, pesticides, fig trees density) may influence this mutualism.

Keywords: Mutualism; Neotropical forest; Pollinators; Syconium.

Introdução

Florestas neotropicais são fragmentadas principalmente em razão da exploração de madeira, expansão agropecuária e urbana (Tabarelli et al. 2004). A fragmentação pode alterar a ecologia de florestas tropicais (Laurance et al. 1998) por reduzirem o número total de indivíduos se comparado com uma floresta contínua (Harris e Johnson 2004; Wang et al. 2005), além de reduzir a abundância de plantas em fase reprodutiva (Bruna et al. 2002), afetando não só essas espécies vegetais, como também animais dependentes dessa reprodução (Andrén 1997; Kearns et al. 1998; Pardini et al. 2010).

Plantas de florestas neotropicais podem manter interações com diversos animais, principalmente insetos no processo de polinização (Bawa 1990; Ricklefs 2010). A entomofilia entre plantas de *Ficus* L. e vespas da família Agaonidae é um mutualismo, em geral, espécie-específico. Cada espécie de vespa polinizadora coloca os ovos apenas nas inflorescências, chamadas de sicônios, da espécie de figueira correspondente e, por isso, a presença destas figueiras florescendo ao longo do ano é fundamental para a sobrevivência dessas vespas (Janzen 1979; Bronstein 1989; Weiblen 2002).

Um ambiente natural deve ter indivíduos de figueiras em quantidade suficiente (Wang et al. 2005) para manter as populações de vespas polinizadoras (Pryanga 2004). Caso contrário, a quantidade de vespas diminui (Harris e Johnson 2004) ou até extingue localmente (Wang et al. 2005).

O rompimento desse mutualismo influencia negativamente a ecologia local (Bawa 1990) pois, além das vespas polinizadoras, outras vespas usufruem do sicônio sendo galhadoras, parasitas das polinizadoras e hiperparasitas. Outros organismos como ácaros (Walter 2000), fungos, nematóides (Baijnath e Ramcharun 1983; Pereira et al. 2000), protozoários, besouros, mariposas (Baijnath e Ramcharun 1983), formigas (Compton e Robertson 1988; Dejean et al. 1997; Schatz e Hossaert-McKey 2003; Schatz et al. 2008) e muitos vertebrados (Berg e Wiebes 1992) também se

aproveitam deste recurso.

Conhecer os efeitos da fragmentação florestal sobre a polinização e produção de sementes em *Ficus* pode contribuir para a conservação de espécies mutualísticas e de todos os outros organismos que podem usufruir desse mutualismo. No presente estudo foi avaliada a produção de sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. e a produção de sementes e vespas associadas aos sicônios em fragmentos de diferentes tamanhos. Foram levantadas as perguntas: (i) a fragmentação tornou a população de *F. adhatodifolia* insuficiente para manter indivíduos reprodutivos o ano todo? (ii) a produção média de sementes e abundância de vespas polinizadoras por sicônio é maior nos maiores fragmentos florestais?

Material e Métodos

Espécie estudada

Ficus adhatodifolia possui distribuição na América do Sul extra-amazônica (Berg e Villavicencio 2004) e é morfologicamente afim à *F. insipida* Amazônica (Milton 1991). É uma espécie terrestre, perenifolia no norte do Paraná, Brasil (Bianchini et al. 2015), e pode produzir grandes quantidades de sicônios (milhares deles) em uma grande safra por ano, apesar de ser comum gerar poucos sicônios (menos que dez) em outros períodos do ano. Para a população, a reprodução é assincrônica, com picos entre Janeiro e Março (Bianchini et al. 2015). Os sicônios possuem de 1 à 5 cm de diâmetro entre as cinco fases de desenvolvimento (observação pessoal), ostíolo pouco proeminente e superficial (Berg e Villavicencio 2004; Berg 2006), e interior geralmente avermelhado, onde são formadas as flores e, posteriormente, os frutos.

Ao longo do seu desenvolvimento, o sicônio passa por cinco fases (Galil e Eisikowitch 1968): fase A – da formação até a antese das flores femininas; fase B - liberação de substâncias voláteis e chegada das vespas polinizadoras (fundadoras) (fase feminina); fase C - as galhas com

vespas e os aquênios desenvolvem-se e a cavidade do sicônio pode ser bloqueada; fase D (fase masculina) - as vespas machos terminam o desenvolvimento, copulam com as fêmeas e posteriormente abrem uma saída do sicônio; as fêmeas eclodem, se enchem de pólen e saem voando em busca de novos sicônios; fase E - as sementes terminam o desenvolvimento e o sicônio é capaz de atrair a fauna dispersora (Galil e Eisikowitch 1968).

Seis espécies de vespas estão associadas com *F. adhatodifolia* (Bouček 1993), porém sua polinização é realizada por apenas uma única espécie do gênero *Tetrapus* Mayr, 1885. No estágio larval, as vespas utilizam o ovário das flores para depositar ovos, onde poderiam formar sementes (Baijnath e Ramcharun 1983; Anstett et al 1996). O gênero *Critogaster* Mayr 1885 é o único descrito até o momento como vespas não polinizadoras em *Ficus* seção *Pharmacosycea* (Bouček 1993; Rasplus e Soldati 2006).

Área de estudo

A formação florestal da Mata Atlântica sensu lato na região do estudo é a Floresta Estacional Semidecidual e seus fragmentos são rodeados principalmente por agricultura e pecuária. Foram estudados cinco destes fragmentos na região de Londrina, norte do Paraná, sul do Brasil e uma área urbana em Londrina (Fig. 1).

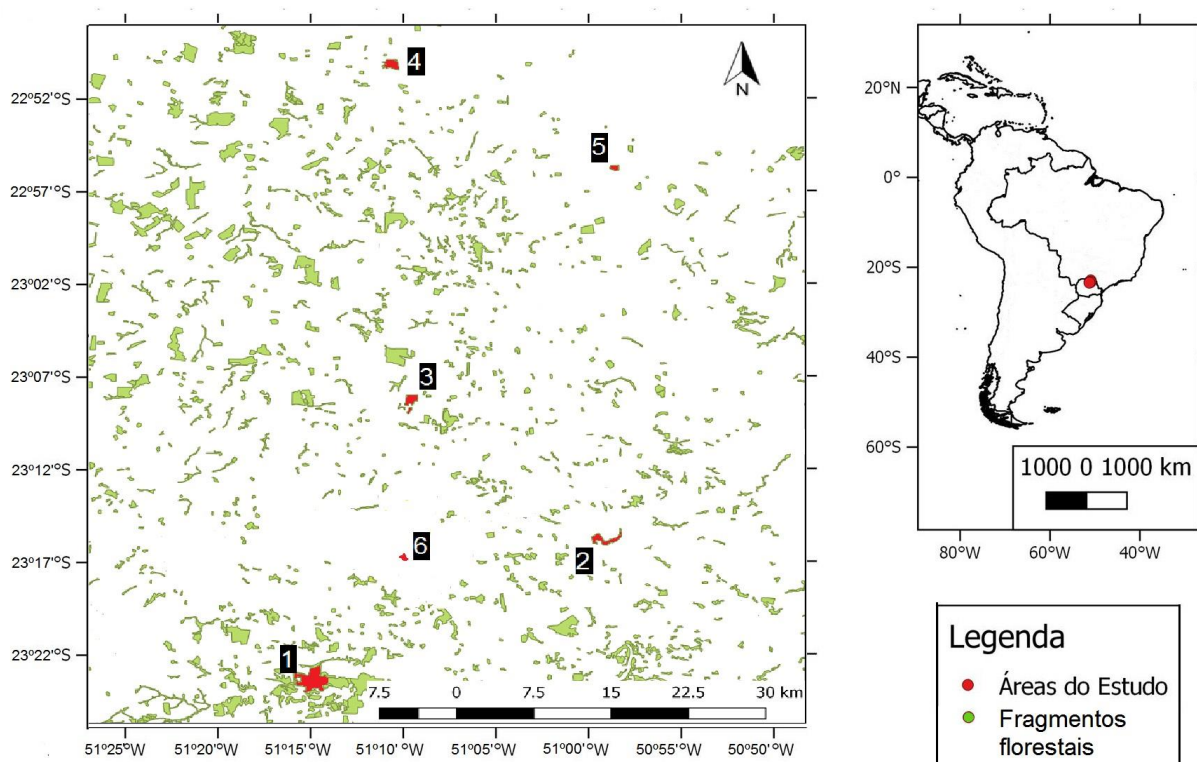


Fig. 1 Mapa do Brasil, com ênfase na região norte do Estado do Paraná. A imagem à direita representa os fragmentos florestais em verde e os fragmentos estudados em vermelho. 1 – Parque Estadual Mata dos Godoy; 2 – Mata Doralice; 3 – Estação Ecológica Ferraz; 4 – Fazenda Alvorada; 5 – Ibiaci; 6 – Lago Igapó. Fonte: Quantum Gis 2.14 e Google Earth.

O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) ($23^{\circ}27'06''\text{S}$ e $51^{\circ}15'09''\text{O}$) possui 650 ha de floresta bem conservada na Unidade de Conservação, mas com um total aproximado de 2800 ha de floresta contínua após o crescimento de capoeiras unindo diversos fragmentos (Vicente 2006). A Mata Doralice (MD) ($23^{\circ}18'24''\text{S}$ e $50^{\circ}58'39''\text{O}$) possui 170 ha (Aguiar et al. 2003), com muitas lianas e algumas clareiras próximo das bordas, mas o interior da floresta é pouco alterado, similar ao PEMG (Dias et al. 2002). A Estância Ecológica Ferraz (EEF) ($23^{\circ}09'40''\text{S}$ e $51^{\circ}09'54''\text{O}$) possui em torno de 130 ha, com alto número de plantas exóticas nas bordas da floresta e de suas trilhas, mas com seu interior pouco alterado. A RPPN Mata do Cici, da Fazenda Alvorada (FA) ($22^{\circ}49'06''\text{S}$ $51^{\circ}11'11''\text{O}$) possui 128 ha, sofreu corte seletivo de madeira e possui muitas clareiras e grande quantidade de lianas, que dificulta o acesso ao interior do fragmento. Ibiaci (IB) ($22^{\circ}55'21''\text{S}$

50°58'29"O) possui 45 ha, próxima a cursos d'água, com muitas epífitas na borda e plantas exóticas devido a presença humana no entorno. Igapó (IG) (23°19'38.23"S 51°09'50.37"O) não é um fragmento, faz parte do entorno paisagístico do Lago Igapó, na cidade de Londrina. Possui predomínio de gramíneas exóticas e árvores frutíferas nativas e exóticas esparsas.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa – subtropical úmido mesotérmico (Bianchini et al. 2003), com variações médias de temperatura de 16°C e 28°C (Mendonça e Danni-Oliveira 2002) gerando leve sazonalidade (Silva e Soares-Silva 2000; Bianchini et al. 2001). As maiores médias de precipitação e temperatura são no verão, enquanto o inverno é mais frio e seco.

Coleta de dados

Entre agosto de 2014 e julho de 2015, foram acompanhados 56 indivíduos de *F. adhatodifolia* (PEMG – 31; MD – 10; EEF – 7; FA – 7; IB - 1). O único indivíduo encontrado no fragmento IB não reproduziu durante o período de coleta, e por essa razão, o fragmento não foi utilizado nas análises. As figueiras do IG (3) foram acompanhadas de Novembro de 2014 à Julho de 2015. Os dados fenológicos foram agrupados por mês, mesmo ocorrendo visitas mais frequentes, seguindo os pressupostos de Pereira et al. (2007). A produção de sicônios e a fase reprodutiva foram registradas de cada indivíduo monitorado. As fases B e D foram usadas para mensurar a produção por figueira, utilizando-se um ranking de cinco pontos, que considera a porcentagem da copa produzindo sicônios: 0 – copa com 0-1% de sicônios; 1 – >1-25%; 2 – >25-50%; 3 – >50-75%; 4 – >75-100%. Esta metodologia é similar a usada por outros autores (Spencer et al. 1996; Korine et al. 2000; Zhang et al. 2006). A pontuação mensal por fragmento foi obtida somando-se os escores de todas as figueiras.

Figueiras geralmente são polinizadas por vespas emergindo de sicônios entre 1 - 4 km de distância (Heer et al. 2015). Por isto, o programa de georreferenciamento Google Earth Pro foi

utilizado para contar quantos fragmentos existem à distância de até 5 km de cada área estudada e quantos desses fragmentos possuem 50 ha ou mais. Esta área mínima foi definida porque o IB, com apenas 45 ha, apresentou apenas um indivíduo da espécie. A densidade de *F. adhatodifolia* em cada área estudada foi estimada por densidade linear, onde os indivíduos são contados ao longo do percurso. Indivíduos avistados fora do caminho não foram utilizados na análise. O valor obtido é dividido pela extensão percorrida (Banack et al. 2002).

Com auxílio de um podão, estilingue “big-shot” e corda com peso na ponta, foram coletados de 15 a 30 sicônios na fase D por árvore, em cinco safras nos fragmentos PEMG, MD e EEF e 12 a 15 sicônios de duas safras nas áreas FA e IG devido a baixa disponibilidade de sicônios nestes fragmentos. Os sicônios foram individualizados em frascos plásticos, tampados por tecido voil e mantidos em laboratório por 72 horas para emergência das vespas. Posteriormente, o material foi imerso em álcool 70% e tampado até a triagem (Elias et al. 2007, Peng et al. 2010). As vespas de cada sicônio foram separadas por sexo e apenas as fêmeas identificadas em nível específico, com base em chave de identificação (Bouček 1993) e auxílio de especialistas do Laboratório de Ecologia Vegetal da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (LEV - USP). Após isso, cada figo foi seccionado em aproximadamente quatro partes iguais, e em apenas um dos quartos, vespas que não nasceram e aquênios foram contados. O número total deles foi estimado multiplicando-se por quatro o valor quantificado na seção (Elias et al. 2007).

Todas as espécies animais (adultos ou larvas) presentes no sicônio durante a fase D foram coletadas e separadas por área. A identificação ocorreu até o menor nível hierárquico possível, com auxílio de especialistas do LEV - USP.

Análise dos dados

Para descrever a distribuição das espécies nos sicônios foi utilizado a frequência de ocorrência (n° sicônios infestados \times 100/ n° de sicônios coletados) nas áreas estudadas. Correlação

de Spearman foi utilizada para avaliar se houve correlação entre vespas polinizadoras, vespas não polinizadoras e sementes. Com o objetivo de verificar possível interferência do tamanho dos fragmentos no desenvolvimento das estruturas do sicônio, foi realizado GLM (Modelos Lineares Generalizados) Binomial Negativo utilizando o número médio de sementes e vespas por sicônio. Este teste é o mais adequado para dados sobredispersos, comum em análises entomológicas (Demétrio et al. 2014). Todas as análises foram realizadas no programa R Studio 3.1.3, com os pacotes MASS, hnp e pscl.

Resultados

Produção de sicônios

Ficus adhatodifolia possuiu reprodução assincrônica na população e, em geral, sincrônica por indivíduo. A espécie floresceu durante todo o ano, com o máximo de três safras por indivíduo neste período, enquanto outras não geraram nenhuma. A média de safras iniciadas por indivíduo foi de $1,25 \pm 0,92$ (desvio padrão). Abortos foram constantes em todas as áreas, não diferindo entre elas, geralmente com mais de 50% de cada safra perdida antes de completar o ciclo. Por isso, a média de safras por indivíduo que chegou ao menos à fase B foi de $0,995 \pm 0,245$, e na fase D $0,52 \pm 0,22$, sem discriminar fragmentos. A porcentagem mais alta de indivíduos aptos a receber vespas polinizadoras foi 16,4% nos meses de Outubro e Março e o mês com maior quantidade de indivíduos liberando vespas foi Março, com 12,7% do total (Fig. 2). O mês de Maio não teve nenhum indivíduo de *F. adhatodifolia* atraindo polinizadoras, enquanto Fevereiro e Junho não tiveram vespas emergentes entre as árvores amostradas (Fig. 2).

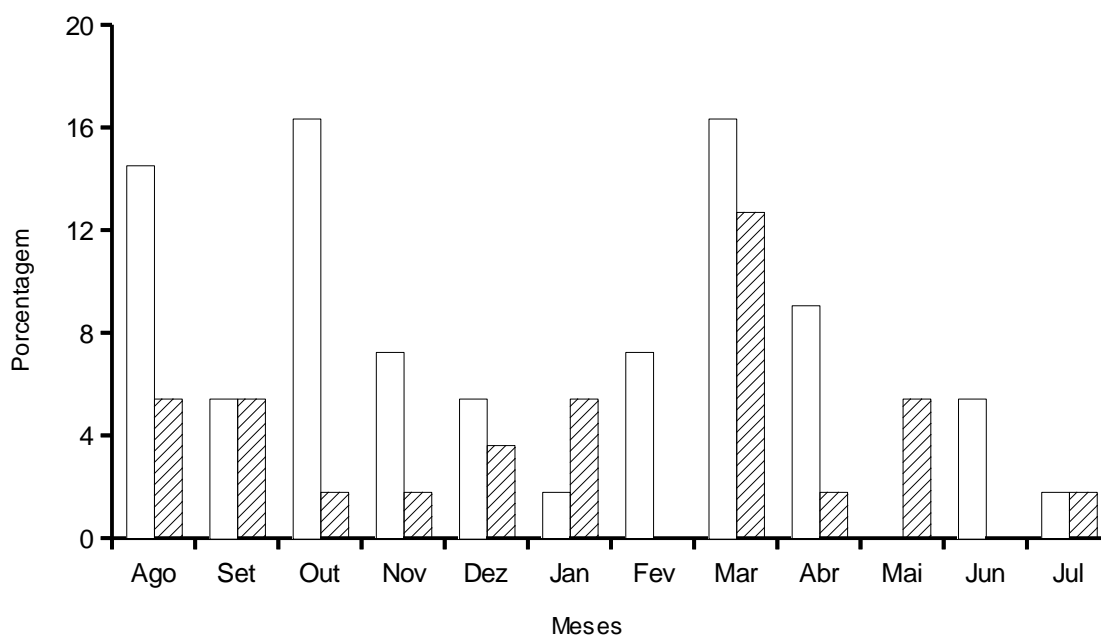


Fig. 2 Porcentagem de indivíduos com sicônios nas fases B (barra branca) e D (barra tracejada), durante o período de um ano, em quatro fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil

Nenhum fragmento apresentou produção de safras em *F. adhatodifolia* todos os meses do ano, pelo número de árvores acompanhadas no estudo. PEMG e MD tiveram a maior abrangência de meses (10) com sicônios nas fases de interesse (B e D), seguidos por EEF com 6 meses, FA com 5 meses e IG com 4 meses. No PEMG, os picos de produção ocorreram em Agosto, Fevereiro e Março. Na MD o pico foi em Outubro (Tabela 1), enquanto nas outras áreas não foi possível observar picos de reprodução.

Tabela 1 Soma dos pontos no ranking de fenologia nas fases B (barras brancas) e D (barras pretas) em cada fragmento de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil no período de um ano (2014/2015). PEMG - Parque Estadual Mata dos Godoy; MD - Mata Doralice; EEF - Estação Ecológica Ferraz; FA - Fazenda Alvorada; IG - Lago Igapó. A barra branca do PEMG, em Fevereiro, representa o maior valor no ranking: 20 pontos.

	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
PEMG	□	□	□	□		□	□	□	□			□
PEMG	■	■	■					■		■		
MD	□		□		□			□	□		□	
MD		■		■		■				■		
EEF			□	□	□						□	
EEF					■	■						■
FA	□						□	□	□			
FA									■	■		
IG				□					□			□
IG					■							

Fragmentos próximos

O número de fragmentos em até 5 km de proximidade, para PEMG, MD, EEF, FA e IB é 11, 3, 8, 10 e 9 respectivamente. O PEMG possui quatro destes fragmentos com 50 ha ou mais (50, 51,5, 57,2 e 109,0) e EEF possui um fragmento nestas condições (235). MD, FA e IB não têm fragmentos maiores que 50 ha em suas proximidades. No entorno do IG existem três fragmentos próximos. Um deles, inserido no Parque Arthur Thomas (87,5 ha), município de Londrina, possui 14 ou mais figueiras da seção *Pharmacosycea*, provavelmente *F. adhatodifolia*. O PEMG apresentou maior densidade linear 12,78 ind./km⁻¹, seguido de EEF 6,28 ind./km⁻¹, MD 5,33 ind./km⁻¹, FA 2,6 ind./km⁻¹ e IG 1,5 ind./km⁻¹.

Sicônios

Tetrapus sp. e sementes de *F. adhatodifolia* foram encontrados em mais de 95% das amostras, sendo em geral, os organismos e as estruturas mais abundantes nos sicônios analisados.

Foram encontradas 12 espécies de invertebrados adultos não polinizadores e cinco morfotipos de larvas não polinizadores nos sicônios de *F. adhatodifolia* da região (Tabela 2). Das 12 espécies registradas, uma espécie de ácaro muito pequeno e uma de formiga não foram coletadas. As larvas de besouro da família Curculionidae (*Ceratopus* sp.) desenvolvem-se internamente no sicônio, consomem o material vegetal disponível e galhas. Foi observado a ocorrência de *Ficicola* sp., sendo o primeiro registro do gênero em *F. adhatodifolia*.

Tabela 2 Espécies de invertebrados (adultos ou larvas) não polinizadores associados ao sicônio na fase D de *Ficus adhatodifolia*, em fragmentos de Mata Atlântica da região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó

Espécie	PEMG	MD	EEF	FA	IG
<i>Critogaster nuda</i>	X	X	X	X	X
<i>C. singularis</i>	X	X	X	X	X
<i>C. piliventris</i>	X	X	X	X	X
Staphylinidae	X	X	X	X	X
<i>C. flavescens</i>	X	X	X		X
<i>Ceratopus</i> sp.*	X	X	X	X	
Díptera 1	X	X			
<i>Ficicola</i> sp.	X				
Díptera 2	X				
Díptera 3	X				
Larvas					
Coleóptera*	X	X	X	X	X
Morfotipo 1	X	X		X	
Morfotipo 2	X				
Morfotipo 3	X				
Morfotipo 4	X				

*As larvas de Coleóptera são provavelmente do *Ceratopus* sp. (com base em Capinera 2008). Por isso, a ausência do adulto nas amostras em IG não significa ausência deste animal na área

As vespas *Critogaster nuda*, *C. singularis* e *C. piliventris* foram as espécies não polinizadoras mais frequentes nos sicônios. Entre as áreas de estudo, MD apresentou menor frequência (54%, 53%, 33% respectivamente) e o PEMG apresentou maior frequência das três espécies de vespas (81%, 77%, 60,3%), com exceção de *C. nuda*, cuja maior frequência foi na FA (87,5%) (Fig. 3). Quanto as outras vespas não polinizadoras, *C. flavescens* esteve presente em menos de 0,5% do total de sicônios, apesar de só não ter sido encontrada na FA. Apenas um único indivíduo de *Ficicola* sp. foi registrado, no PEMG.

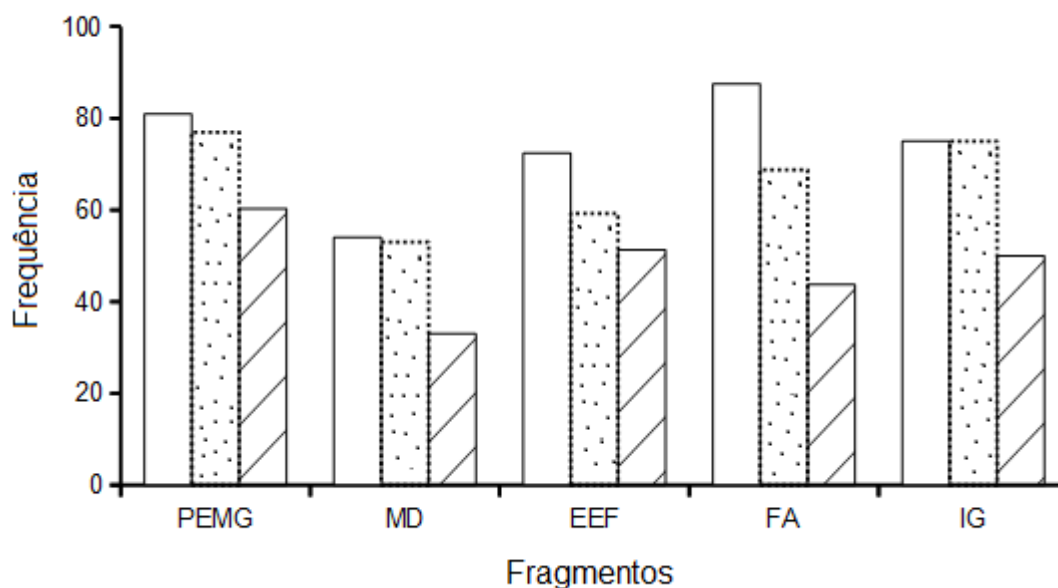


Fig. 3 Frequência de vespas não polinizadoras de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng nos sicônios amostrados em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. Barras brancas = *Critogaster nuda* Mayr; barras pontilhadas = *Critogaster singularis* Mayr; barras tracejadas = *Critogaster piliventris* Mayr.

Produção de sementes e vespas

Foi observada correlação negativa e significativa entre vespas polinizadoras x *C. nuda* ($S = 5844477$ rho $-0,12$; p $0,03$; $n = 315$) x *C. singularis* ($S = 6807364$ rho $-0,31$; $p < 0,001$; $n = 315$) x *C. piliventris* ($S = 6892489$ rho $-0,32$; $p < 0,001$; $n = 315$); entre Sementes x *C. singularis* ($S = 6184971$ rho $-0,19$; $p < 0,001$; $n = 315$) x *C. piliventris* ($S = 5982832$ rho $-0,15$; $p < 0,008$; $n = 315$), e relação positiva entre vespas polinizadoras x sementes ($S = 3698332$, rho $0,29$ $p < 0,001$, $n = 315$) por sicônio, sem separar por áreas. O valor rho varia de -1 que significa correlação inversamente proporcional perfeita, à 1 , que significa correlação diretamente proporcional perfeita.

Com os Modelos Lineares Generalizados foi observado quais fragmentos são significativos

para cada modelo testado (Tabela 3).

Tabela 3 Verificação de quais fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil, que são aceitos nos modelos propostos sobre a influência da fragmentação ambiental na produção de sementes, vespas polinizadoras e vespas não polinizadoras em sicônios na fase D de *Ficus adhatodifolia*, utilizando Modelos Lineares Generalizados. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. EP = Erro padrão.

	Sementes				Polinizadoras				Não Polinizadoras			
	Coef	EP	Z	P	Coef	EP	z	P	Coef	EP	z	P
Áreas												
PEMG*	4,66	0,069	67,981	<0,001	4,35	0,075	58,094	<0,001	3,43	0,128	26,732	<0,001
MD	-0,02	0,089	-0,248	0,807	0,30	0,098	3,033	0,002	-0,43	0,168	-2,557	0,011
EEF	-0,14	0,098	-1,465	0,147	0,43	0,107	4,004	<0,001	-0,23	0,184	-1,277	0,202
FA	-0,28	0,147	-1,922	0,055	-0,53	0,162	-4,102	<0,001	-0,32	0,276	-1,141	0,254
IG	-0,31	0,141	-2,190	0,029	-0,35	0,155	-2,265	0,024	0,41	0,263	1,562	0,118

*PEMG foi utilizado como intercepto. Esta área foi utilizada como controle, por ser a mais próxima de um ambiente natural.

Comparando-se o modelo testado com o modelo nulo, observou-se que o número de sementes produzido não diferiu entre os fragmentos (LRT p-valor = 0,07; LR stat (chi²) = 8,63; n = 384), apesar de que PEMG e MD produziram quase 30% a mais de sementes, em média, que FA e IG (Fig. 4).

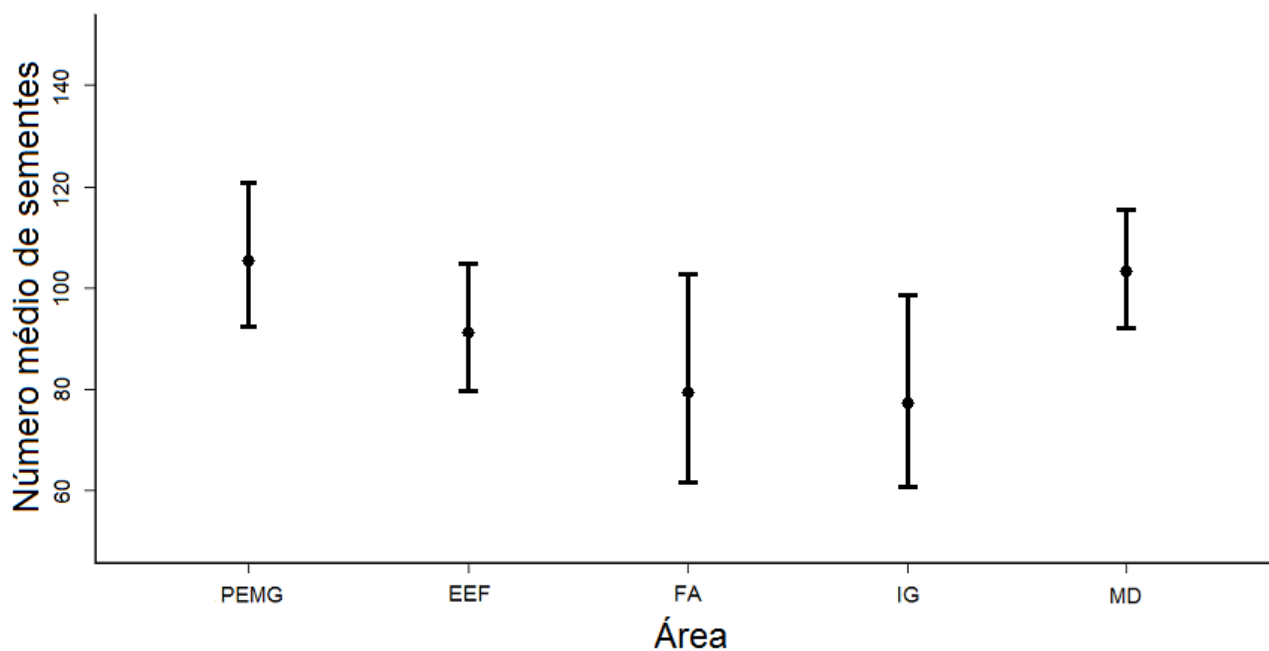


Fig. 4 Número médio de sementes nos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. As barras verticais indicam os intervalos de confiança em 95%

Para a produção de vespas polinizadoras, há diferença significativa entre os fragmentos, mas parece não haver correlação com a área dos fragmentos (LRT p-valor < 0,001; LR stat (chi²) = 56,9; n = 369) (Fig. 5).

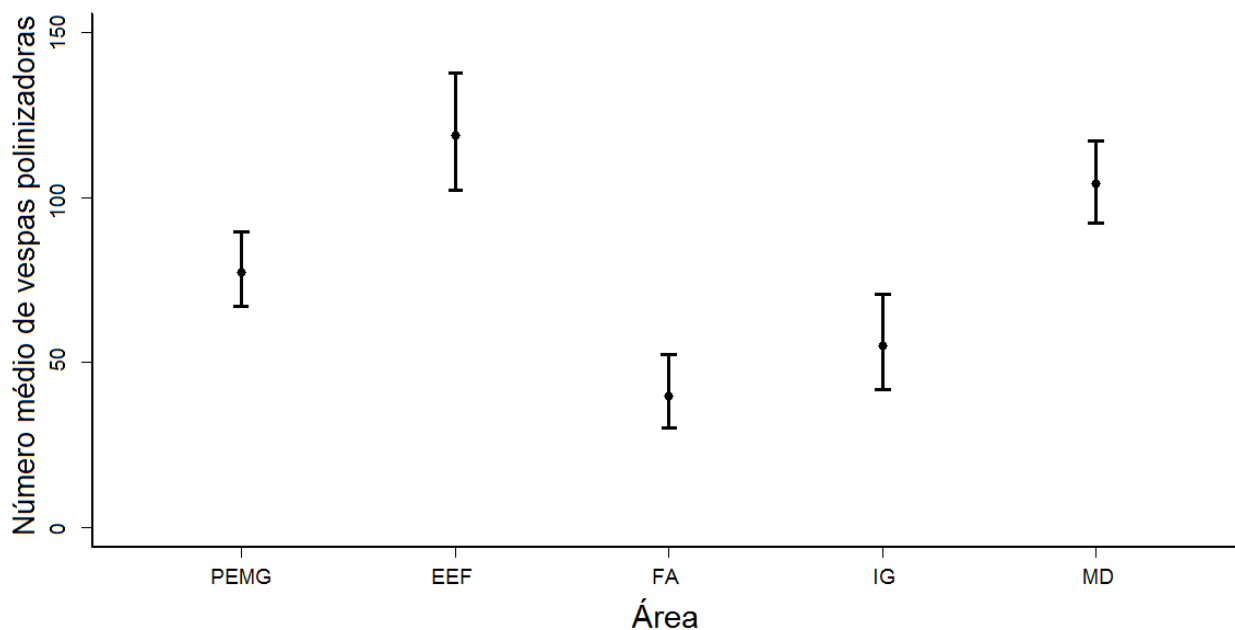


Fig. 5 -Número médio de vespas polinizadoras (*Tetrapus* sp.) nos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. As barras verticais indicam os intervalos de confiança em 95%

Para a produção de vespas não polinizadoras, sem distinção por espécie, também há diferença significativa, sem aparente influência da área dos fragmentos (LRT p-valor = 0,006; LR stat (χ^2) = 15,2; n = 369) (Fig. 6).

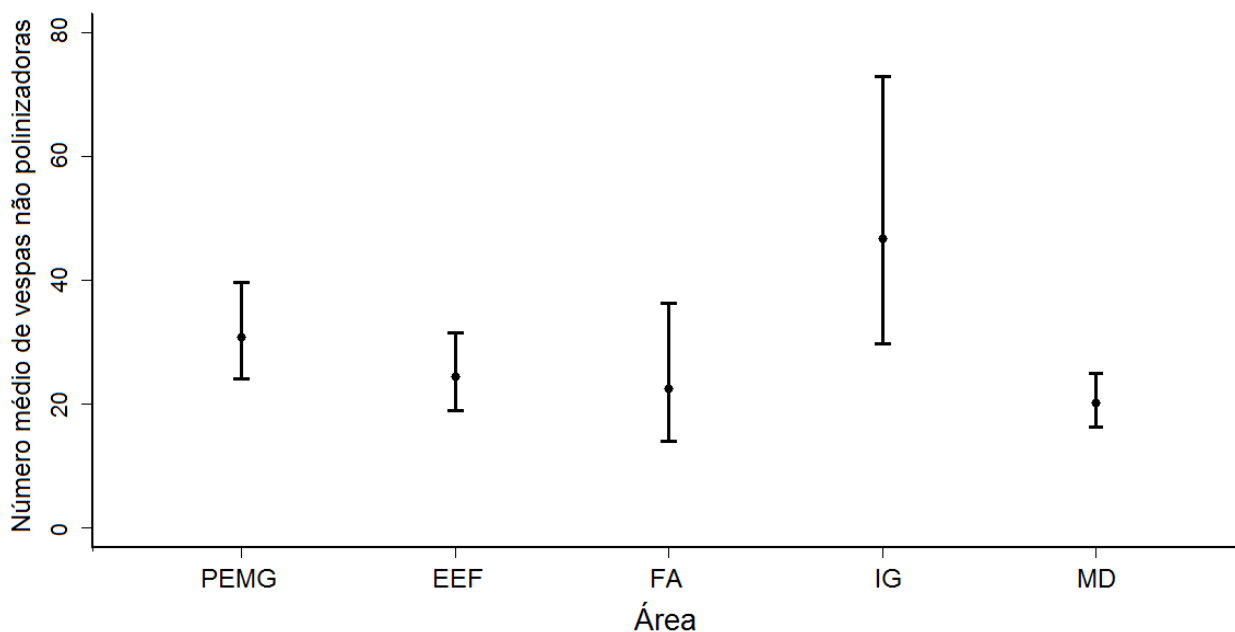


Fig. 6 Número médio de vespas não polinizadoras (*Critogaster* sp.) nos sicônios de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng em fragmentos de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy; MD – mata Doralice; EEF – Estação Ecológica Ferraz; FA – Fazenda Alvorada; IG – Lago Igapó. As barras verticais indicam os intervalos de confiança em 95%

Discussão

Produção de sicônios e fragmentos próximos

A assincronia na reprodução de *F. adhatodifolia* dentro da população era prevista, já que essa assincronia não só é comum nas espécies de figueira (Janzen 1979; Herre 1996), como também é necessária para a manutenção do mutualismo planta-polinizador. Apesar disso, enquanto alguns meses tiveram alta produção de sicônios, outros não apresentaram nenhuma safra, mostrando que esta assincronia não é perfeita (Damstra et al. 1996). Os meses sem produção também mostraram que a assincronia observada não é suficiente entre os indivíduos amostrados para a manutenção do mutualismo.

Ficus adhatodifolia possui, em geral, sincronia no desenvolvimento dos sicônios dentro da

mesma safra, como é também comum em outras espécies de figueira (Compton et al. 1994), mas não esperado para este subgênero (Berg 2006).

No presente trabalho, a maior produção de sicônios ocorreu entre Fevereiro e Março, similar ao observado no PEMG (Bianchini et al. 2015), em que a maior produção de sicônios para a mesma espécie ocorreu entre Janeiro e Fevereiro, na média entre sete anos de estudo.

Os sicônios maduros são consideravelmente mais raros de encontrar do que sicônios em desenvolvimento devido as altas taxas de aborto. Com mais de 50% de abortos no presente estudo, comuns no gênero (Janzen 1979; Bronstein 1988; Korine et al. 2000), ter uma produção média de apenas 0,52 safras/ano para fase D exige que as populações dessa espécie sejam grandes e, por isso, o mutualismo figueira-vespa polinizadora em áreas fragmentadas deve ser mais afetado em *F. adhatodifolia* se comparado a outras espécies de figueira, que apresentam maiores médias de safras/ano (ver Chen et al. 1999; Pereira et al. 2007).

Regiões que não possuem população mínima dessa figueira, não sustentam populações das vespas, podendo haver extinção local das espécies envolvidas (Chen et al. 2004). Isto não aconteceu no norte do Paraná (pergunta [i]), pois as vespas polinizadoras nascem de praticamente todos os sicônios, não importando o fragmento, e três espécies de vespas não polinizadoras são comuns mesmo no fragmento com menor frequência de ocorrência das mesmas (MD). É possível que a menor frequência de vespas não polinizadoras em MD ocorra devido ao baixo número e tamanho dos fragmentos do entorno, o que pode resultar em baixo número de indivíduos de *F. adhatodifolia* em um raio de 5 km. Os fragmentos presentes em até 5 km das áreas de estudo podem servir como os mais importantes exportadores e importadores de vespas, mas não os únicos.

Os agrupamentos de *F. adhatodifolia* na paisagem do norte do Paraná são insuficientes para manter indivíduos reprodutivos o ano todo em fragmentos pequenos e alterados como IB (menores que 50 ha), os quais representam boa parte dos fragmentos do norte do Paraná (aproximadamente 80,5%, de acordo com medições com auxílio do programa Quantum Gis 2.14). Os nove fragmentos no entorno de IB possuem menos que 50 ha. É possível que nesta microregião, a baixa densidade

linear de indivíduos resulte em insuficiência dos mesmos para uma população local estável, necessitando de migrações de vespas polinizadoras por distâncias maiores.

Em FA e IG, a baixa densidade linear de indivíduos ($2,6 \text{ ind./km}^{-1}$ e $1,5 \text{ ind./km}^{-1}$), somado ao alto índice de abortos dos sicônios, dificultou a amostragem para essas áreas, não alcançando os números coletados em PEMG, MD e EEF. A falta de sicônios recebendo e liberando vespas em muitos meses, para cada área, também sugere a necessidade de migração das vespas entre fragmentos.

Vespas polinizadoras são capazes de voar a longas distâncias (mais de 30 km) aproveitando correntes de ar. Isso explicaria o aparente sucesso reprodutivo desta espécie monóica de figueira (Harrison 2003) na paisagem altamente fragmentada do norte do Paraná. Apesar disso, as temperaturas são mais altas e a umidade mais baixa acima do dossel. Isto pode diminuir a longevidade das vespas polinizadoras (Compton et al. 2000), que já é curta (até 3 dias) (Kjellberg et al. 1988; Compton et al. 1994). Isto fica ainda mais dramático em áreas fragmentadas, devido a umidade mais baixa do ar e as temperaturas mais altas (Jevanandam et al. 2013).

O PEMG, além de possuir maior área florestal, possui a maior densidade linear de *F. adhatodifolia* na região ($12,78 \text{ ind./km}^{-1}$), apresentou maior frequência e abundância na produção de sicônios na fração amostrada do Parque. Apesar de o PEMG não possuir produção ininterrupta durante o ano entre os indivíduos amostrados, certamente existem muito mais árvores de *F. adhatodifolia* no fragmento, devido a densidade linear encontrada e as dimensões da área florestal. Portanto, é provável que nele ocorra produção contínua de sicônios, além de ser o principal 'exportador' de vespas polinizadoras e não polinizadoras para os fragmentos vizinhos, assumindo papel de grande importância da manutenção desse mutualismo.

Fauna não polinizadora associada

A alta frequência na ocorrência das vespas polinizadoras *Tetrapus* sp. e de sementes nos

sicônios confirma o sucesso da reprodução nas duas espécies. Os raros sicônios em que se observou a ausência de vespas polinizadoras foram considerados super explorados pelas vespas não polinizadoras, enquanto os sicônios sem sementes, mas com vespas polinizadoras foram considerados “falhas reprodutivas”, pois a vespa fundadora entrou, mas devia estar sem pólen aderido ao corpo.

O PEMG foi o fragmento com maior número de espécies de invertebrados não polinizadores interagindo com o sicônio de *F. adhatodifolia*, enquanto IG e FA tiveram o menor número de espécies registradas, sendo a maior área e as duas menores áreas, respectivamente. Apesar disso, a diferença do *n* amostral entre estas áreas parece ser a principal causa da variação no número de espécies encontradas.

Ficicola sp. é um gênero de vespas não polinizadoras encontradas em *Ficus* subgênero *Urostigma* (Farache, observação pessoal). Na região de estudo, *F. citrifolia* e *F. eximia* são prováveis hospedeiras. O único indivíduo de *Ficicola* sp. registrado para este estudo não pode ser considerado nova espécie na interação com *F. adhatodifolia*, sendo mais provável uma entrada acidental, ou reprodução da vespa nesta figueira por falta das figueiras naturalmente parasitadas por ela, reproduzindo na época que foi registrada.

A alta frequência de ocorrência das espécies de vespas não polinizadoras do gênero *Critogaster* (*C. nuda*, *C. singularis* e *C. piliventris*) nos sicônios mostra que estas são, juntamente com *Tetrapus* sp., as espécies de vespa mais comuns a *F. adhatodifolia* (Bouček, 1993; Berg & Villavicencio, 2004). Também devem ser as vespas da seção *Pharmacosycea* melhor adaptadas à fragmentação ambiental da região, por serem as únicas vespas presentes em todos os fragmentos estudados.

Produção de sementes e vespas

Vespas não polinizadoras influenciaram negativamente a produção de vespas polinizadoras e

sementes. Resultados semelhantes com outra espécie de figueira foram descritos em Cardona et al. (2013). Com as correlações obtidas, é sugerido que sicônios de *F. adhatodifolia* possuem mais flores do que as vespas polinizadoras conseguem explorar, já que quanto mais vespas polinizadoras nascem de um sicônio (relacionado à quantidade de vespas fundadoras), mais sementes também serão geradas, e a correlação até aumenta ($\rho = 0,36$) quando utilizado o volume dos sicônios na fórmula. *Critogaster nuda* não influenciou na produção de sementes, sendo uma outra espécie que, apesar de não polinizar o sicônio, não parece gerar efeitos negativos ao mesmo. A história de vida dessas vespas ainda é pouco conhecida.

A relação vespas não polinizadoras (*C. singularis* e *C. piliventris*) com sementes e com vespas polinizadoras sugere que estas espécies de vespas sejam competidoras com as polinizadoras, caso elas entrem antes das *Tetrapus* sp. no sicônio (West et al. 1996), ou são parasitas de galhas caso a colonização no sicônio seja posterior às *Tetrapus* sp. (Farache, observação pessoal).

A fragmentação florestal parece não influenciar na produção de sementes, mostrando que até mesmo nos menores fragmentos e com baixa densidade de figueiras, como são os casos de FA e IG, a produção de sementes por sicônio se manteve estável, possivelmente pelo pólen contido em uma vespa fundadora ser suficiente para polinizar boa parte das flores. Apesar disso, um fragmento com menos figueiras irá produzir menos sicônios alcançando a fase D e, conseqüentemente, menos sementes, sendo a densidade das populações de figueiras, fator importante para a manutenção da *F. adhatodifolia* na paisagem.

Por outro lado, a quantidade de vespas polinizadoras e não polinizadoras variou entre as áreas, apesar de os resultados não serem os esperados. Quanto maior a distância de uma figueira na fase D para uma figueira na fase B, menores são as chances das vespas alcançarem seu objetivo. Com menos vespas polinizando e parasitando o sicônio, menor será a prole gerada dessas espécies por sicônio. PEMG, apesar de ser o maior e mais conservado fragmento, apresentou produção intermediária de vespas polinizadoras em relação às outras áreas de estudo, mostrando que as áreas dos fragmentos não influenciaram a produção de sementes e vespas, sugerindo que fatores não

analisados estão influenciando os dados (pergunta [ii]). O que essas variações podem significar futuramente para as populações de figueiras e vespas Agaonidae ainda é incerto.

São as áreas influenciadoras no mutualismo?

Generalizações para este tipo de amostragem devem ser vistas com cuidado, pois as safras possuem grande variação de dados (Corlett et al. 1990). As áreas dos fragmentos não influenciaram na reprodução das vespas *Tetrapus* sp. e *Critogaster* sp, e outras variáveis devem influenciar na reprodução dessas espécies, tais como a densidade de *F. adhatodifolia* por fragmento, microclima, aplicação de pesticidas nas proximidades, manejo da borda dos fragmentos, limítrofe com as plantações (observação pessoal), presença ou ausência de formigas protetoras, etc.

É possível que existam indivíduos de *F. adhatodifolia* isolados nas paisagens rurais servindo como pontes entre fragmentos (Nason et al, 1998), já que figueiras de outras espécies foram avistadas nessas situações. Durante o trabalho, também notou-se que muitos indivíduos de *F. adhatodifolia* produziam menos de 10 sicônios (geralmente um ou dois identificados na árvore inteira) fora do tempo de suas safras. Essa assincronia na produção de sicônios pode ser outro fator que contribui na persistência das populações de vespas e, conseqüentemente, de figueiras. Isso não significa que o mutualismo está a salvo caso o número de figueiras reduza ainda mais. Para o completo sucesso reprodutivo, os animais dispersores de semente devem cumprir seu papel e as sementes e plântulas resistirem aos locais em que caírem.

As interações bióticas e abióticas de *Ficus adhatodifolia* com o meio são muitas e, descobrir as variáveis influenciadoras do desenvolvimento das sementes e vespas de sicônio, e o rumo que essa interação está seguindo no futuro, é complexo e desafiador, mas não menos importante. Vale destacar também a importância da realização de novos trabalhos sobre fragmentação, utilizando espécies vegetais polinizadas por animais com deslocamento mais limitado.

Referências Bibliográficas

- Aguiar LM, Reis NR, Ludwig G, Rocha VJ (2003) Dieta, área de vida, vocalizações e estimativas populacionais de *Alouatta guariba* em um remanescente florestal no norte do estado do Paraná. *Neotrop Primates* 11:78-86
- Andrén H (1997) Habitat fragmentation and changes in biodiversity. *Ecol Bull.* 46:171-181
- Baijnath H, Ramcharun S (1983) Aspects of pollination and floral development in *Ficus capensis* Thunb. (Moraceae). *Bothalia* 14:883-888
- Banack SA, Horn MH, Gawlicka A (2002) Disperser – vs. establishment-limited distribution of a riparian fig tree (*Ficus insipida*) in a Costa Rican tropical rain forest. *Biotropica* 34:232–243
- Bawa KS (1990) Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annu Rev Ecol Syst* 21:399-422
- Berg CC (2006) The subdivision of *Ficus* subgenus *Pharmacosycea* section *Pharmacosycea* (Moraceae). *Blumea* 51:147-151
- Berg CC, Villavicencio X (2004) Taxonomic studies on *Ficus* (Moraceae) in the West Indies, extra-Amazonian, Brazil, and Bolivia. *Ilicif* 4, University of Bergen, Norway, 132 pp
- Berg CC, Wiebes JT (1992) African fig trees and fig wasps. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, 298 pp
- Bianchini E, Pimenta JA, Santos FAM (2001) Spatial and temporal variation in the canopy cover in a tropical semi-deciduous forest. *Braz Arch Biol Technol* 44:269-276.
- Bianchini E, Emmerick JM, Messetti AVL, Pimenta JA (2015) Phenology of two *Ficus* species in seasonal semi-deciduous forest in Southern Brazil. *Braz J Biol* 75:206-214
- Bianchini E, Popolo RS, Dias MC, Pimenta JA (2003) Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, sul do Brasil. *Acta Bot Bras* 17:405-419.
- Bouček Z (1993) The genera of chalcidoid wasps from *Ficus* fruit in the new world. *J. Nat. Hist.* 27:173-217.
- Bronstein JJ (1988) Predators of fig wasps. *Biotropica* 20:215-219
- Bronstein JJ (1989) A mutualism at the edge of its range. *Experientia* 45:622-637
- Bruna EM, Nardy O, Strauss SY, Harrison S (2002) Experimental assessment of *Heliconia* acuminate growth in a fragmented Amazonian landscape. *J Ecol* 90:639-649
- Capinera JL (2008) *Encyclopedia of Entomology*. Springer Science, Dordrecht, 4346 pp
- Cardona W, Kattan G, Ulloa PC (2013) Non-pollinating fig wasps decrease pollinator and seed production in *Ficus andicola* (Moraceae). *Biotropica* 45:203-212

- Chen Y-R, Chuang W-C, Wu W-J (1999) Chalcid wasps on *Ficus microcarpa* L. in Taiwan (Hymenoptera: Chalcidoidea). *J Taiwan Mus* 52:39-79
- Chen Y-R, Wu W-J, Chou L-S (2004) Synchronization of fig (*Ficus microcarpa* L.) abundance and pollinator (*Eupristina verticillata*: Agaoninae) population dynamics in northern Taiwan. *J Taiwan Mus* 57:23-35
- Compton SG, Robertson HG (1988) Complex interactions between mutualisms: ants tending homopterans protect fig seeds and pollinators. *Ecology* 69:1302-1305
- Compton SG, Rasplus J-Y, Ware AB (1994) African fig wasp parasitoid communities. In: Hawkins BA, Sheeham W (eds) *Parasitoid community ecology*. Oxford University Press, Oxford, pp 343-368
- Compton SG, Ellwood MDF, Davis AJ, Welch K (2000) The flight heights of chalcid wasps (Hymenoptera, Chalcidoidea) in a lowland Bornean rain forest: fig wasps are the high fliers. *Biotropica* 32:515-522
- Corlett RT, Boudville V, Seet K (1990) Seed and wasp production in five fig species (*Ficus*, Moraceae). *Malay Nat J* 44:97-102
- Damstra KStJ, Richardson S, Reeler B (1996) Synchronized fruiting between trees of *Ficus thonningii* in seasonally dry habitats. *J Biogeogr* 23:495-500
- Dejean A, Bourgoïn T, Gibernau M (1997) Ant species that protect figs against other ants: result of territoriality induced by a mutualistic homopteran. *Ecosciense* 4:446-453
- Demétrio CGB, Hinde J, Moral RA (2014) Models for overdispersed data in entomology. In: Ferreira CP, Godoy WAC (eds) *Ecological modelling applied to entomology*. Springer International Publishing, Switzerland, pp 219-259
- Dias MC, Vieira AOS, Paiva MRC (2002) Florística e fitossociologia das espécies arbóreas das florestas da bacia do rio Tibagi. In: Medri ME Bianchini E, Shibatta AO, Pimenta JA (eds) *A bacia do rio Tibagi*. Edição dos Editores, Londrina, pp 109-124
- Elias LG, Ó VT, Farache FHA, Pereira RAS (2007) Efeito de vespas não-polinizadoras sobre o mutualismo *Ficus*-vespas de figos. *Iheringia Sér. Zool.* 97:253-256
- Galil J, Eisikowitch D (1968) On the pollination ecology of *Ficus sycomorus* in east Africa. *Ecology* 49:259-269
- Harris F, Johnson SD (2004) The consequences of habitat fragmentation for plant–pollinator mutualisms. *Insect Sci Appl* 24:29-43
- Harrison RD (2003) Fig wasp dispersal and the stability of a keystone plant resource in Borneo. *Proc R Soc Lond B* 270:S76-S79
- Heer K, Kalko EKV, Albrecht L, Garcia-Villacorta R, Staeps FC, Herre EA, Dick CW (2015) Spatial scales of genetic structure in free-standing and strangler figs (*Ficus*, Moraceae) inhabiting neotropical forests. *Plos One* 10(7): e0133581

- Herre EA (1996) An overview of studies on a community of panamanian figs. *Journal of Biogeography*, 23:593-607
- Janzen D (1979) How many parents do the wasps from a fig have? *Biotropica* 11:127-129
- Jevanandam N, Goh GR, Corlett RT (2013) Climate warming and the potential extinction of fig wasps, the obligate pollinators of figs. *Biol Letters* 9:1-4
- Kearns CA, Inouye DW, Waser N (1998) Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annu Rev Ecol Syst* 29:83-112
- Kjellberg F, Doumesche B, Bronstein JL (1988) Longevity of a fig wasp (*Blastophaga psenes*). *Ecol* 91:117-122
- Korine C, Kalko EKV, Herre EA (2000) Fruit characteristics and factors affecting fruit removal in a Panamanian community of strangler figs. *Oecologia* 123:560-568
- Laurance WF, Ferreira LV, Merona JMR, Laurance SG, Hutchings RW, Lovejoy TE (1998) Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in Amazonian tree communities. *Conserv Biol*, 12:460-464
- Mendonça FA, Danni-Oliveira IM (2002) Dinâmica atmosférica e tipos climáticos predominantes da bacia do rio Tibagi. In: Medri ME, Bianchini E, Shibatta AO, Pimenta JA (eds) *A bacia do Rio Tibagi*. Edição dos Editores, Londrina, pp 63-66
- Milton K (1991) Leaf change and fruit production in six neotropical Moraceae species. *J Ecol* 79:1-26
- Nason JD, Herre EA, Hamrick JL (1998) The breeding structure of a tropical keystone plant resource. *Nature* 391:685-687
- Pardini R, Bueno AA, Gardner TA, Prado PI, Metzger JP (2010) Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. *Plos One* 5:0013666
- Peng Y-Q, Compton SG, Yang D-R (2010) The reproductive success of *Ficus altissima* and its pollinator in a strongly seasonal environment: Xishuangbanna, Southwestern China. *Plant Ecol*. 209:227-236
- Pereira RAS, Rodrigues E, Menezes Jr AO (2007) Phenological patterns of *Ficus citrifolia* (Moraceae) in a seasonal humid-subtropical region in Southern Brazil. *Plant Ecol* 188:265-275
- Pereira RAS, Semir J, Menezes Jr AO (2000) Pollination and other biotic interactions in figs of *Ficus eximia* Schott (Moraceae). *Rev Bras Bot* 23:217-224
- Pryanga A (2004) Spatial dynamics of mutualistic interactions. *J Anim Ecol* 73:128-142
- Rasplus JY, Soldati L (2006) Familia Agaonidae. In: Fernández F, Sharkey MJ (eds) *Introducción a los himenoptera de la región neotropical*. Sociedad Colombiana de Entomología & Universidad Nacional de Colômbia, Bogotá, pp 683-698

- Ricklefs RE (2010) A economia da natureza, 6ª ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 530 pp
- Schatz B, Hossaert-McKey M (2003) Interactions of the ant *Crematogaster scutellaris* with the fig/fig wasp mutualism. *Ecol Entomol* 28:359-368
- Schatz B, Kjellberg F, Nyawa S, Hossaert-McKey M (2008) Fig wasps: a staple food for ants on *Ficus*. *Biotropica* 40:190-195
- Spencer H, Weiblen G, Flick B (1996) Phenology of *Ficus variegata* in a seasonal wet tropical forest at Cape Tribulation, Australia. *J Biogeogr* 23:467-475
- Silva FC, Soares-Silva LH (2000) Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR, Brazil. *Edinb J Bot* 57:107-120
- Tabarelli M, Silva JMC, Gascon C (2004) Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. *Biod Conserv* 13:1419-1425
- Vicente RF (2006) O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD (org) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. Itedes, Londrina, pp 13-18
- Walter DE (2000) First record of a fig mite from the Australian region: *Paratarsonemella giblindavisi* sp.n. (Acari: Tarsonemidae). *Aust J Entomol* 39:229-232
- Wang R-W, Yang C-Y, Zhao G-F, Yang J-X (2005) Fragmentation effects on diversity of wasp community and its impact on fig/fig wasp interaction in *Ficus raceosa* L. *J Integr Plant Biol* 47:20-26
- Weiblen GD (2002) How to be a fig wasp. *Annu Rev Entomol* 47:299-330
- West SA, Herre EA, Windsor DM, Green PRS (1996) The ecology and evolution of the New World non-pollinating fig wasp communities. *J Biogeogr*, 23:447-458
- Zhang G, Song Q, Yang D (2006) Phenology of *Ficus racemosa* in Xishuangbanna, southwest China. *Biotropica* 38:334-341

Apêndices

Fig. 1 Exemplar da vespa polinizadora *Tetrapus* sp. amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. Foto: Guilherme Willrich

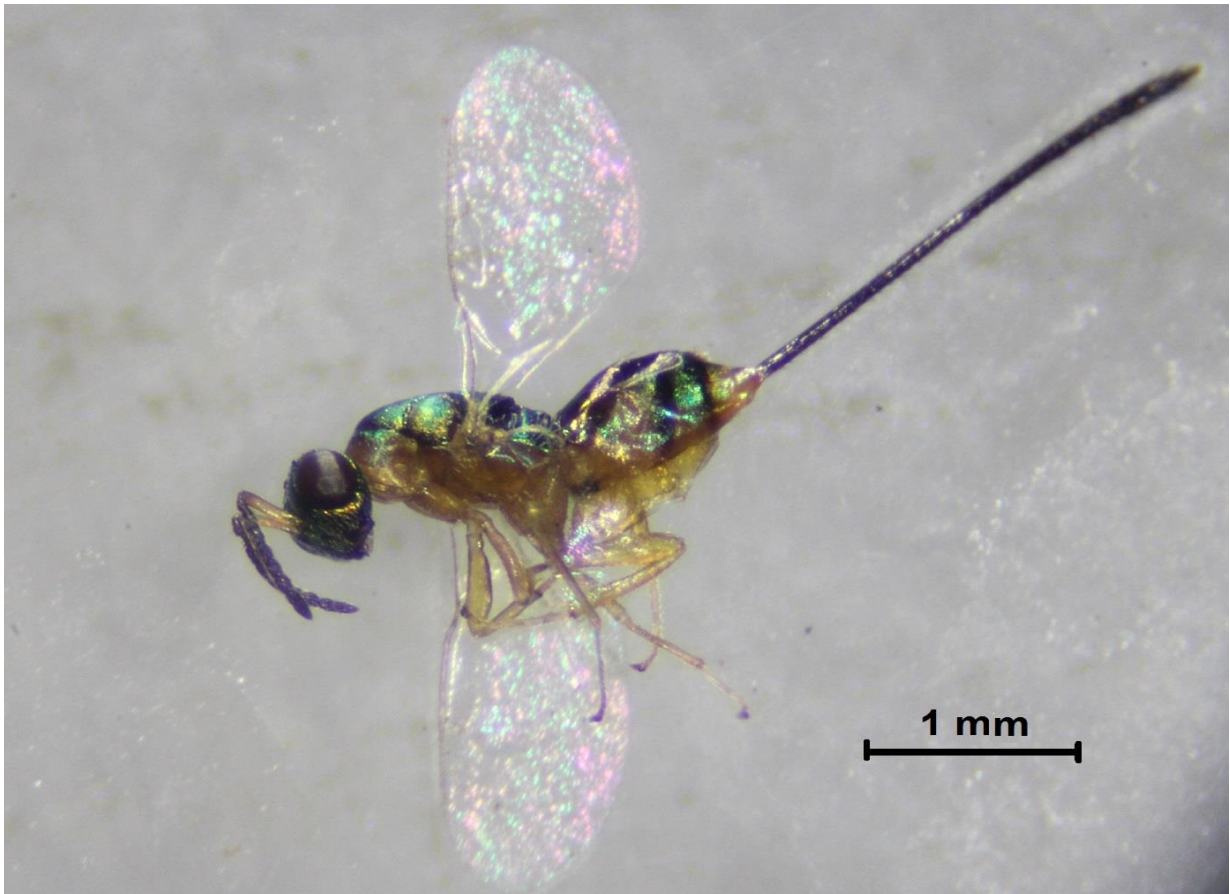


Fig. 2 Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster nuda* amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil.

Foto: Guilherme Willrich

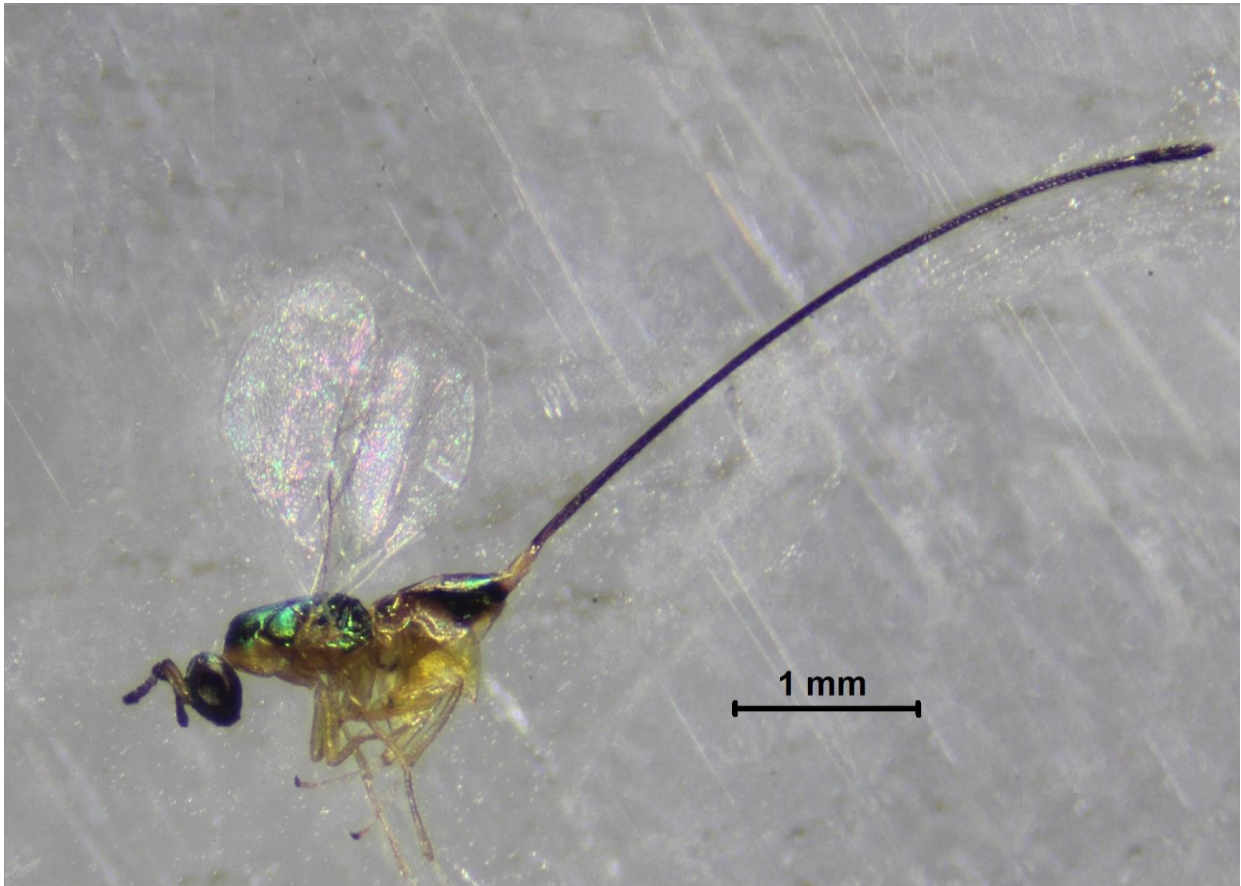


Fig. 3 Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster singularis* amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil.
Foto: Guilherme Willrich

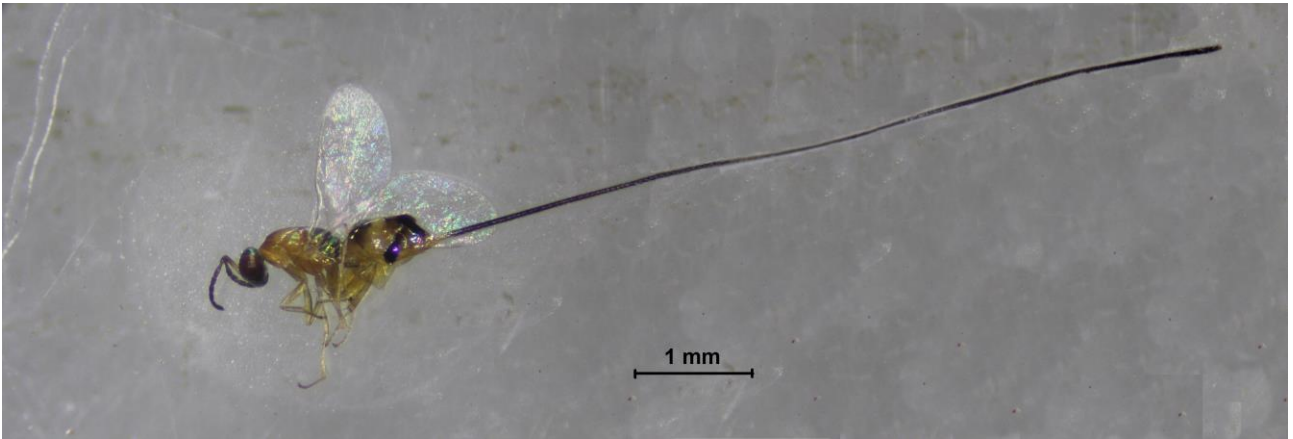


Fig 4 Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster piliventris* amostrada em sicônio de *Ficus adhatodifolia* de fragmentos florestais de Mata Atlântica na região de Londrina, PR, sul do Brasil. Foto: Guilherme Willrich



Fig 5 Exemplar da vespa não polinizadora *Critogaster flavescens* amostrada em sicônio de *Ficus obtusiuscula*. Este indivíduo foi escolhido para ilustrar o trabalho por estar em melhor estado de conservação do que os coletados nos sicônios de *F. adhatodifolia*. Foto: Fernando Farache