



Universidade Federal de Uberlândia

Instituto de Biologia



Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais

Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger,  
Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, frequência de visitas  
e a conservação de áreas naturais

Marcela Yamamoto

Uberlândia, MG

Março de 2009

Marcela Yamamoto

Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger,  
Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, frequência de visitas  
e a conservação de áreas naturais

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Uberlândia, como parte das exigências  
para obtenção do título de Doutor em  
Ecologia e Conservação de Recursos  
Naturais

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Angélica Almeida Barbosa

Uberlândia, MG

Março de 2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Y19p Yamamoto, Marcela , 1971-  
Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deneger, Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, frequência de visitas e a conservação de áreas naturais / Marcela Yamamoto. - 2009.  
130 f. : il.

Orientadora: Ana Angélica Almeida Barbosa.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Inclui bibliografia.

1. Polinização - Teses. 2. Polinizadores - Teses. 3. Polinização por insetos - Teses. I. Barbosa, Ana Angélica Almeida Barbosa. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. III. Título.

CDU: 581.162.3

---

Elaborado pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

Marcela Yamamoto

Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger, Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, frequência de visitas e a conservação de áreas naturais

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais

Aprovada em 23 de março de 2009.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Angélica Almeida Barbosa  
Orientadora – UFU

Prof. Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira  
Presidente da banca - suplente - UFU

Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas  
Membro titular – UFC

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Helena Nogueira Ferreira  
Membro titular – UFU

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Gaglianone  
Membro titular – UENF

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Solange Cristina Augusto  
Membro titular – UFU

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Helena Maura Torezan Silingardi  
Membro suplente

Uberlândia, MG  
Março de 2009

## AGRADECIMENTOS

Sem o auxílio de muitas pessoas, não seria possível o desenvolvimento desta tese. Seguem os meus breves, mas sinceros agradecimentos.

Agradeço ao CNPq, Ministério do Meio Ambiente e financiadores do projeto Probio conv. 0112-00/2005, minha porta de entrada para a ecologia da polinização. A FAPEMIG pelo financiamento de projetos e auxílios. A CAPES pela bolsa de doutorado. A Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais pelo apoio e estrutura.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Angélica Almeida Barbosa pela orientação e companheirismo no desenvolvimento do trabalho. A vida nos prega surpresas, mas admiro essa grande guerreira em você.

Ao Prof. Dr. Paulo Eugênio A.M. Oliveira inicialmente pelo convite a participar no “projeto do maracujá”, pela orientação ao longo do projeto, por assumir a presidência da banca de defesa e orientação a toque de caixa e pelo exemplo de pesquisador e pessoa.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Solange Cristina Augusto pelas discussões e sugestões acerca do projeto, do curso e pela pronta receptividade durante todo o curso.

Aos demais membros da banca, Prof. Dr. Breno Freitas, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Gaglianone, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Helena Nogueira Ferreira e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Helena Maura Torezan Silingardi por aceitarem o convite em compor a banca e pelas valiosas considerações sobre o trabalho.

Às secretárias do Instituto de Biologia Helena e Nívea pela paciência nos agendamentos dos carros de campo e recebimento de material de apoio. Especialmente à Maria, super Maria Angélica pelas sugestões sempre alertas das atividades da pós-graduação, pelas conversas, pelos desabafos, pelos incessantes avisos de que existe vida fora da pós-graduação e pelo auxílio de sempre.

Aos técnicos de laboratório por disponibilizarem o material necessário para as análises, especialmente a bióloga Márcia Abadia. Aos simpáticos e não tão simpáticos motoristas da UFU pelo transporte ao campo. Ao Sr. Vander, responsável da garagem

pelas sempre negociações das viagens de campo. Agradeço ao Sr. Francisco Célio pelas divertidas e oportunas caronas até a Fazenda Água Limpa e aos demais funcionários pela tão boa e agradável receptividade durante os dias de campo.

Ao engenheiro agrônomo Hércules José de Oliveira da Kraft Alimentos pela indicação das áreas de estudo incluindo a apresentação das mesmas e dos produtores, também pelo pronto atendimento sempre que solicitado. Ao agrônomo José Rafael Silva da Viveiros Flora Brasil, pelas informações sobre o cultivo do maracujá-amarelo na área.

A todos os proprietários e/ou responsáveis pelas fazendas que disponibilizaram seus pomares para estudo, imprescindíveis para a realização do estudo. A simplicidade e a receptividade de alguns me comoveram profundamente, fazendo me lembrar dos meus tempos de infância vividos na fazenda e dos simples valores da família.

Ao Ms. Alexandre G. Franchin pela identificação dos beija-flores, Dr. Fernando A. Silveira (UFMG), Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Gaglianone (UENF), Dr<sup>a</sup>. Fernanda H. Nogueira Ferreira (UFU), bióloga Estefane L. Siqueira, Ms. Alice M.F.G. Vilhena, Dra. Solange Cristina Augusto (UFU) e Dr<sup>a</sup>. Cláudia Inês da Silva pela identificação das abelhas.

Aos integrantes do LAMOV – Laboratório de Morfologia Vegetal e Imagens por possibilitar as análises de laboratório e também pelos seminários de discussão promovidos pelo grupo. Ao LECA – Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas e seus integrantes por disponibilizar a coleção de abelhas e auxiliar na identificação.

Ao Dr. Wilson Fernandes Réu Júnior e Ms. Paulo Emílio F. Alvarenga pelo auxílio nas atividades do projeto por fazerem as tardes de campo com sol escaldante serem mais divertidas. Aos alunos da disciplina de entomologia 2ºsem/2006 pelo trabalho conjunto na coleta de dados da segunda estimativa populacional.

Ao Prof. Dr. Kleber Del-Claro pelas oportunidades oferecidas ao longo do curso de pós-graduação, ao Prof. Dr. Gabriel Melo pelas sugestões no método do censo em transectos, à Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Blandina Viana pelas sugestões no projeto das áreas, ao Prof.

Dr. Leonardo Galetto pelas sugestões no manuscrito e pelos interessantes questionamentos acerca da profissão e do lado humano que sempre nos coloca.

Aos colegas de curso, em especial àqueles que sempre dividiram as “nóias” do curso de alguma forma, organização dos eventos da pós e até discutindo por horas as normas do curso! Especialmente ao Everton Tizo Pedroso, Alexandre G. Franchin e Felipe W. Amorim, também pela ajuda com aquisição de referências e material de apoio. À Diana Salles Sampaio, Clesnan Mendes Rodrigues, Ricardo Campos, Ana Maria Coelho Carvalho e demais amigos feitos ao longo do percurso: Alice Vilhena, Pietro K. Maruyama Mendonça, Estevão A. Silva, Tathiana Mesquita, Rubem Samuel de Ávila Jr. (também pela hospedagem em Campinas), Marieta C. Dorneles, Vanessa Stefani, Helena Maura T. Silingardi e as estagiárias do projeto do maracujá nativo: Luciana e Marianas, muito obrigada!

Agradeço a pessoas especiais como o Prof. Dr. Oswaldo Marçal Jr e sua família que por razões que não necessito explicar e principalmente por ser um dos responsáveis por eu estar concluindo a pós-graduação na UFU. Aos amigos “normais” Marcus, Tininha, Danny Boy, tio Careca e Marisa, Seu Hélio e D. Ivone por abrirem as portas de suas casas e nos adotarem como integrantes da família! Aos colegas do espanhol que fizeram minhas manhãs de sábado mais divertidas!

À minha família pelo apoio incondicional. Sei que minha mãe ficaria orgulhosa por mais esta etapa. Ao meu pai, Fisao e meus irmãos: Eduardo, Fábio e Renato, também as cunhadas: Ana e Lisani, sobrinhas queridas: Alana e Ana Carolina e a todos os tios, tias, primos e primas!

E finalmente ao meu “namorado”, Lourenço Faria Costa, agradeço pelo companheirismo de todos esses anos juntos, a ajuda em campo, inclusive pelo financiamento do carro que possibilitou a execução do capítulo 3, pela paciência e simplesmente pela convivência nossa de todos os dias.

Também agradeço àqueles que de certa forma contribuíram para a realização não somente deste trabalho, mas para o meu crescimento profissional.

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO GERAL - A POLINIZAÇÃO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS E A CONSERVAÇÃO DAS ÁREAS NATURAIS

Figura 1 - Modelo conceitual dos impactos da mudança de usos da terra nos serviços de polinização. Fonte: traduzido de Kremen et al. 2007. .... 15

### CAPÍTULO 1 - POLLINATION AND PRODUCTION OF YELLOW PASSION FRUIT IN TRIÂNGULO MINEIRO REGION, SOUTHEAST OF BRAZIL

FIGURE 1. Floral visitors of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* observed in orchards in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. Pollinators: (A) *Xylocopa* (*Megaxylocopa*) *frontalis*, (B) *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *grisescens*, (C) *Centris* (*Ptilotopus*) *scopipes*; (D) *Bombus* (*Fervidobombus*) *pauloensis*, (E) *Eulaema* (*Apeulaema*) *nigrita*, (F) *Acanthopus* *excellens*, (G) *Centris* (*Trachina*) *longimana*, (H) *Centris* (*Xanthemis*) *lutea*, (I) *Epicharis* (*Epicharis*) *flava*, (J) *Oxaea* *flavescens*, (L) *Oxaea* *austera*; Thieves: (M) *Apis mellifera*, (N) *Frieseomelitta varia* (O) *Trigona* sp. .... 523

FIGURE 2. Sample based rarefaction curves of yellow passion fruit flowers bee visitors in commercial orchads in the Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil (A) floral visitors, and (B) effective pollinators..... 524

FIGURE 3. Pollen tube growth for *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* under (A) stigma surface with pollen grains; (B) pollen tube development along the style; (C) detail of pollen grain germination; (D) pollen tube penetrating on ovules; (E) penetrated ovule on the right and not penetrated on the left. Scale: 1mm. .... 525

### CAPÍTULO 2 - FREQUÊNCIA DE VISITAS, COMPORTAMENTO E TAMANHO POPULACIONAL DOS POLINIZADORES DO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO

Figura 1 – Marcação das abelhas polinizadoras do maracujá-amarelo com a etiqueta numerada (A) seringa modificada (B) detalhe do posicionamento da abelha na seringa e do local de colagem da etiqueta, (b) indivíduo marcado visitando as flores. Fotos: Probio conv. 0112-00/2005. .... 65

Figura 2 – Número médio de polinizadores e pilhadores observados por hora visitando as flores do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa e da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG, nos anos 2006 e 2007. .... 72

Figura 3 – Frequência média de visitas (A) das abelhas *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens*, *X. hirsutissima* e *X. suspecta* (B) e de *Apis mellifera* com o recurso utilizado, durante o período de abertura das flores do maracujá-amarelo por nas áreas de cultivo da Fazenda Água Limpa e da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. O número dentro das barras indica a quantidade média de indivíduos observados. .... 73

### **CAPÍTULO 3 - A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS NATURAIS DE CERRADO NA PRODUTIVIDADE DO MARACUJÁ-AMARELO NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Figura 1 – Porcentagem média de frutificação inicial, frutificação final e aborto em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. As barras indicam o erro padrão da média, as letras diferentes ao lado das barras indicam diferença significativa entre os tratamentos e ns - não significativo..... 103

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS - O MODELO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

Figura 1– Modelo conceitual dos impactos da mudança de usos da terra no Triângulo Mineiro nos serviços de polinização do maracujá-amarelo. Modificado de Kremen et al. (2007). .... 127

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1 - POLLINATION AND PRODUCTION OF THE YELLOW PASSION FRUIT IN TRIÂNGULO MINEIRO REGION, SOUTHEAST OF BRAZIL

Table 1 – Floral visitors on *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* orchards in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. AL: Água Limpa farm, TI: Três Irmãos farm, PF: Pissarão farm, RB: Recanto dos Buritis farm, and CA: Campo Alegre farm..... 49

Table 2 – Species richness estimates for flower visitors and pollinators of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* on orchards in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil..... 50

Table 3 – Fruit production after pollination treatments in *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. In each line, different letters indicated significant differences ( $\chi^2$ ,  $P < 0.05$ )..... 50

Table 4 –Fruit production of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* in other studied areas in Brazil..... 51

### CAPÍTULO 2 - FREQUÊNCIA DE VISITAS, COMPORTAMENTO E TAMANHO POPULACIONAL DOS POLINIZADORES DO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO

Tabela 1 – Comportamento, frequência relativa de visitas (FR) e frequência de ocorrência (FO) das abelhas visitantes de flores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), em áreas de cultivo de Uberlândia, MG, no período de março de 2006 a maio de 2007. (comportamento: PO – polinizador, PI – pilhador; Classificação: MF - muito frequente, F- frequente, PF- pouco frequente). ..... 67

Tabela 2 – Frequência relativa diária dos visitantes florais do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa). 71

Tabela 3 – Frequência relativa diária dos visitantes florais do maracujá-amarelo da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa, no – não observado)..... 71

Tabela 4 – Frequência relativa dos visitantes florais nos meses de florescimento do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa). ..... 75

Tabela 5 – Frequência relativa dos visitantes florais nos meses de florescimento do maracujá-amarelo da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa, no – não observado). ..... 75

Tabela 6 – Espécies de abelhas polinizadoras do maracujá-amarelo e o número de indivíduos marcados e recapturados na área de cultivo da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG. Estimativa I realizada entre 29 de março a 01 de abril de 2005 e Estimativa II de 22 a 26 de janeiro de 2007. (nc: não coletado; nr: não recapturado; ne: não estimado)..... 79

### **CAPÍTULO 3 - A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS NATURAIS DE CERRADO NA PRODUTIVIDADE DO MARACUJÁ-AMARELO NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Tabela 1 – Características das áreas de estudo e a riqueza de espécies das abelhas visitantes de flores do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. .... 100

Tabela 2 – Frequências relativa (%) e absoluta, entre parênteses, das abelhas visitantes das flores do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007..... 100

Tabela 3 – Frutificação inicial, frutificação final e perda de frutos do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. PC- polinização cruzada (%), PN- polinização natural (%), EF- eficiência de frutificação (n=30 flores/tratamento/área). .... 102

Tabela 4 – Características dos frutos resultantes dos tratamentos de polinização manual cruzada (PMC) e polinização natural (PN) do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. .... 103

YAMAMOTO, M. 2009. Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger, Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, frequência de visitas e a conservação de áreas naturais. Tese de doutorado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG. 130p.

**RESUMO** - As evidências de declínio das populações dos polinizadores nativos em vários locais do mundo conduziram a iniciativas de conservação e ao incentivo de vários projetos, inclusive no Brasil, com o intuito de conhecer e propor atividades de manejo e conservação desses polinizadores. Neste contexto, o cultivo do maracujá-amarelo parece constituir um modelo interessante a ser estudado uma vez que o plantio é dependente dos serviços de polinização para a produção de seus frutos, e os seus principais polinizadores envolvem abelhas nativas de grande porte, de hábitos solitários e que nidificam em madeira. Além disso, o cultivo é importante para o desenvolvimento sustentável da região do Triângulo Mineiro, uma das áreas de maior ação antrópica do bioma Cerrado. O objetivo geral da tese foi verificar a relação entre a conservação das áreas naturais de cerrado do entorno dos cultivos do maracujá-amarelo e o serviço de polinização deste cultivo na região. Para tanto, foi necessário estimar a riqueza de espécies de polinizadores, conhecer o comportamento e a frequência de visitas nos pomares e finalmente, associar tais informações ao serviço de polinização deste cultivo na região, fazendo uma análise preliminar do efeito da cobertura das áreas naturais de entorno dos pomares na polinização e produtividade deste cultivo. O estudo foi conduzido durante o florescimento do cultivo nos anos de 2004 e 2008, em áreas de cultivo comercial do maracujá-amarelo nos municípios de Uberlândia e Araguari, MG. A riqueza de espécies dos polinizadores e os valores da frutificação natural encontrados neste estudo foram superiores aos registrados em outras regiões do Brasil. A frutificação natural do maracujá-amarelo foi explicada pela riqueza de espécies dos polinizadores, mas não pela frequência ou a taxa de visitas dos mesmos. Os visitantes florais ocorreram durante todo o período de observação diário, mas os polinizadores não foram avistados em alguns meses de florescimento. A população de *Xylocopa* spp foi estimada em 150-210 indivíduos e pareceu ser suficiente para polinizar um pomar de 0,5ha, mantendo 38,7% de frutificação natural. Em algumas áreas, a abelha *Apis mellifera* foi prejudicial ao cultivo, em determinados períodos, por reduzir rapidamente a disponibilidade dos grãos-de-pólen para o serviço de polinização. Os resultados indicaram limitação de pólen neste cultivo, provavelmente causada pela baixa ocorrência dos seus polinizadores. A frutificação manual mostrou-se mais eficiente na formação dos frutos, mas apresenta um custo adicional para o produtor. A riqueza de espécies de polinizadores pareceu estar associada ao grau de conservação das áreas naturais no entorno dos cultivos, mas apenas a proporção destas áreas não mostrou relação significativa com a riqueza e a taxa de visita dos polinizadores e nem com a frutificação natural do cultivo encontrada. Informações como práticas de manejo, distância e caracterização dos fragmentos e até mesmo a manutenção das plantas ruderais no entorno dos cultivos são importantes para manter os recursos disponíveis para os polinizadores e para a caracterização do sistema maracujá-amarelo em todo o seu contexto geográfico constituindo fortes argumentos a serem utilizados nas justificativas de conservação.

**PALAVRAS-CHAVE:** abelhas nativas, Cerrado, *Xylocopa*, maracujá, polinização por abelhas, polinização de cultivo

YAMAMOTO, M. 2009. Pollinators of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger, Passifloraceae) in the Triângulo Mineiro region, Central Brazil: species richness, frequency of visits and natural area conservation. PhD thesis. 130p.

**ABSTRACT** - The evidence of native pollinators population decrease worldwide has led to conservation initiatives and promoted several projects, including in Brazil, aiming to better understand pollinators and recommend management and conservation strategies. In this sense, yellow passion fruit crop seems to represent an interesting model to be studied, considering its dependence on pollination services for fruit production. Their effective pollinators are solitary and large native carpenter bees, which nest in dead wood. Also, this crop is important for sustainable development in the Triângulo Mineiro region, one of the most human disturbed areas in Cerrado. The thesis general objective was to verify the relationship between natural areas conservation around the yellow passion fruit orchards and the pollination services of this crop in Triângulo Mineiro region. For this, we estimate the richness of yellow passion fruit native pollinators, as well as to know their behavior on orchards and frequency of visits. It aimed also to associate that information with passion-fruit pollination service in a Brazil Central region. Moreover, we made a preliminary analysis of the effects of natural areas land cover around orchards on the crop pollination and productivity. Data were collected during flowering seasons from 2004 to 2008, on yellow passion fruit commercial orchards at Uberlândia and Araguari municipalities, Minas Gerais State. The species richness of pollinator and natural fruit-set were higher than found in other areas of Brazil. The yellow passion fruit natural fructification was explained by pollinator species richness, but was not explained neither by frequency nor by visitation rates of pollinators. Floral visitors were recorded during along the afternoon while there were open flowers, although they were missing in some months of flowering seasons. The *Xylocopa* spp population was estimated in 150-210 individuals and this value appeared to be enough to pollinate a 0.5ha yellow passion fruit orchard, maintaining 38.7% of natural fruit-set. In some areas, *Apis mellifera* bee was damaging to passion-fruit production by quickly reducing available pollen to pollination service. Results indicated pollen limitation to this crop, probably caused by the low frequency of pollinators. Hand pollination was more effective on fruit formation, but had an additional cost to the producers. The pollinator species richness seemed to be associated with degree of natural areas conservation around the orchards, although the proportion of these natural areas alone did not show a significant relation with pollinator richness and crop visitation rates on studied areas. Other information, such as management practices, distance and quality of cerrado natural areas remnants and even ruderal plants around the orchards are important to maintain the pollinators resources availability and description of yellow passion fruit system in all geographical context constituting suitable arguments to be used in order to justify conservation policies.

**KEY-WORDS:** native bees, Brazilian savannah, *Xylocopa*, passion fruit, bee pollination, crop pollination

## ÍNDICE

|                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Agradecimentos .....                                                                                                                | iv        |
| Lista de figuras .....                                                                                                              | vii       |
| Lista de tabelas .....                                                                                                              | ix        |
| Resumo .....                                                                                                                        | xi        |
| Abstract .....                                                                                                                      | xii       |
| <b>A polinização de cultivos agrícolas e a conservação das áreas naturais .....</b>                                                 | <b>2</b>  |
| 1. Serviços Ecossistêmicos .....                                                                                                    | 2         |
| 2. A polinização como serviço ambiental .....                                                                                       | 3         |
| 3. O serviço de polinização e a conservação das áreas naturais.....                                                                 | 12        |
| 5. Objetivos e apresentação da tese .....                                                                                           | 20        |
| <b>Capítulo 1 .....</b>                                                                                                             | <b>28</b> |
| <b>Pollination and production of yellow passion fruit in Triângulo Mineiro region, Southeast of Brazil .....</b>                    | <b>28</b> |
| Methods.....                                                                                                                        | 30        |
| Study areas .....                                                                                                                   | 30        |
| Production system .....                                                                                                             | 32        |
| Passion fruit floral biology.....                                                                                                   | 33        |
| Floral visitors .....                                                                                                               | 33        |
| Pollination tests .....                                                                                                             | 34        |
| Results.....                                                                                                                        | 35        |
| Discussion .....                                                                                                                    | 39        |
| Acknowledgments .....                                                                                                               | 44        |
| Literature cited .....                                                                                                              | 45        |
| <b>Capítulo 2 .....</b>                                                                                                             | <b>57</b> |
| <b>Frequência de visitas, comportamento e tamanho populacional dos polinizadores do maracujá-amarelo no Triângulo Mineiro .....</b> | <b>57</b> |
| Introdução .....                                                                                                                    | 57        |
| Material e métodos .....                                                                                                            | 59        |
| Área de estudo.....                                                                                                                 | 59        |
| Espécie vegetal estudada .....                                                                                                      | 59        |
| 1. Comportamento e frequência dos visitantes .....                                                                                  | 61        |
| 2. Classificação dos visitantes.....                                                                                                | 62        |
| 3. Tratamentos de polinização.....                                                                                                  | 62        |
| 4. Disponibilidade de pólen .....                                                                                                   | 63        |
| 5. Estimativa populacional dos polinizadores.....                                                                                   | 64        |
| Resultados .....                                                                                                                    | 66        |
| 1.1. Comportamento de forrageio dos visitantes florais .....                                                                        | 67        |
| 1.2. Frequência e classificação dos visitantes.....                                                                                 | 69        |
| 1.2.1. Frequência diária dos visitantes.....                                                                                        | 70        |
| 2. Tratamentos de polinização.....                                                                                                  | 76        |
| 3. Disponibilidade de pólen .....                                                                                                   | 78        |
| Discussão .....                                                                                                                     | 82        |

|                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Capítulo 3 .....</b>                                                                                                     | <b>92</b>  |
| <b>A influência das áreas naturais de cerrado na produtividade do maracujá-amarelo na Região do Triângulo Mineiro .....</b> | <b>92</b>  |
| Introdução .....                                                                                                            | 92         |
| Material e métodos .....                                                                                                    | 95         |
| Área de estudo.....                                                                                                         | 95         |
| 1. Riqueza e frequência dos visitantes florais .....                                                                        | 95         |
| 2. Polinização e formação de frutos .....                                                                                   | 96         |
| 3. Disponibilidade de pólen .....                                                                                           | 97         |
| 4. Análise das áreas naturais .....                                                                                         | 97         |
| 5. Análises estatísticas .....                                                                                              | 98         |
| Resultados .....                                                                                                            | 99         |
| 1. Riqueza e frequência dos visitantes florais.....                                                                         | 99         |
| 2. Polinização e formação de frutos .....                                                                                   | 101        |
| 3. Disponibilidade de pólen .....                                                                                           | 107        |
| 4. Análise das áreas naturais .....                                                                                         | 107        |
| <b>Considerações finais.....</b>                                                                                            | <b>124</b> |
| <b>O modelo maracujá-amarelo no Triângulo Mineiro .....</b>                                                                 | <b>124</b> |
| Referências Bibliográficas .....                                                                                            | 129        |

# **INTRODUÇÃO GERAL**

## **A POLINIZAÇÃO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS E A CONSERVAÇÃO DAS ÁREAS NATURAIS**

## **INTRODUÇÃO GERAL**

### **A POLINIZAÇÃO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS E A CONSERVAÇÃO DAS ÁREAS NATURAIS**

Este capítulo, juntamente com o tópico considerações finais, foi submetido para a revista *Oecologia Brasiliensis*, mas a formatação não obedece totalmente às normas do periódico.

#### **1. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

A polinização, processo de transferência dos grãos-de-pólen das anteras para o estigma, é importante não somente para a reprodução das plantas com flores, mas também, para a produção de alimentos e a manutenção da rede de interações entre animais e plantas, constituindo um serviço ecossistêmico básico. A presente revisão visa descrever estudos recentes da polinização de agroecossistemas associados à conservação das áreas de vegetação natural de entorno e apresenta o maracujá-amarelo como exemplo de um cultivo para o qual a polinização biótica é essencial para a produção dos frutos, reforçando a importância deste serviço ambiental.

Para a sua manutenção no planeta, o homem necessita de recursos e processos providos pelos ecossistemas. Estes benefícios são denominados serviços ecossistêmicos e incluem vários produtos indispensáveis às atividades humanas. Tais serviços podem ser subdivididos em cinco categorias: abastecimento - como a produção de alimento e água; equilíbrio - como, por exemplo, o controle de clima e doenças; apoio - como a ciclagem dos nutrientes e a polinização de cultivos; cultural - envolvendo os benefícios espiritual e recreativo; e preservação - que inclui a constante vigília para a manutenção da diversidade (Millenium Ecosystem Assessment 2005).

A sociedade tem percebido que os serviços ecossistêmicos são limitados e que estão cada vez mais ameaçados pelo próprio homem. A polinização feita por animais nativos, por exemplo, é considerado um serviço chave gerado pelo ecossistema (Klein *et al.* 2007). A ausência deste serviço pode afetar negativamente a reprodução sexuada e a

diversidade genética das plantas, além de comprometer a produção de alimentos e produtos relacionados (Buchmann & Nabhan 1996).

Para auxiliar na conscientização e na tomada de decisões das políticas ambientais e sociais, valores econômicos foram estimados para os serviços ecossistêmicos. Estimativas monetárias apontam que 33 trilhões de dólares americanos são gerados anualmente com os serviços ecossistêmicos, sendo que a polinização representa U\$112 bilhões deste valor (Costanza *et al.* 1997). Outras estimativas calcularam em cerca de U\$200 bilhões empregados na agricultura global ressaltando a importância econômica da polinização e justificando a prioridade da conservação deste sistema (Kearns *et al.* 1998). Um estudo recente estimou o valor de produção dos cultivos, com informações do ano de 2005, em €1618 trilhões e demonstrou a importância dos insetos como polinizadores com estimativas de €153 bilhões (Gallai *et al.* 2008). No entanto, os autores recomendam cautela no prognóstico uma vez que não levaram em consideração as estratégias de mercado (Gallai *et al.* 2008) e reforçam que a valoração deve ser utilizada como uma ferramenta nas práticas conservacionistas e não como um fim ou solução por si mesma (Daily *et al.* 2000, Gallai *et al.* 2008).

## **2. A POLINIZAÇÃO COMO SERVIÇO AMBIENTAL**

A polinização é essencial para a manutenção da diversidade das plantas nativas e, indiretamente, responsável pela existência de outras guildas que dependem dos recursos florais, tais como herbívoros e predadores de sementes (Potts *et al.* 2006, Kremen *et al.* 2007). Tanto plantas nativas como cultivadas podem se beneficiar pela polinização feita por animais e mesmo quando os polinizadores não são imprescindíveis para a produção agrícola, podem aumentar a quantidade e a qualidade das colheitas (Allen-Wardell *et al.* 1998, Roubik 2002, DeMarco & Coelho 2004), aumentando o

valor proteico, o teor de fibras e o número das sementes produzidas (Sundriyal & Sundriyal 2004, D'ávila & Marchini 2005).

São estimadas cerca de 250.000 espécies de Angiospermas modernas, das quais aproximadamente 90% são polinizadas por animais, principalmente insetos (Costanza *et al.* 1997, Kearns *et al.* 1998), entre os quais, destacam-se as abelhas como o principal táxon de polinizadores (Delaplane & Mayer 2000). Para se ter idéia, do total das 40.000 espécies de polinizadores estimadas, mais da metade, 25.000 são abelhas (FAO 2004). Além da abundância dos dois taxa (angiospermas e insetos), outros fatores podem explicar o sucesso desta interação abelha-planta, como a coevolução dos grupos resultando em adaptações morfológicas em ambos (Pitts-Singer & James 2008). Abelhas são visitantes obrigatórias de flores, dependendo quase que exclusivamente delas para obterem seus recursos alimentares, incluindo especialmente néctar, pólen e óleo (Michener 2000).

Considerando todos os polinizadores, estima-se que em torno de 73% das plantas cultivadas mundialmente sejam polinizadas por alguma espécie de abelha, 19% por moscas, 6,5% por morcegos, 5% por vespas, 5% por besouros, 4% por aves e 4% por borboletas e mariposas (FAO 2004). Dos 57 maiores cultivos mundiais em volume de produção, 42% são polinizados por pelo menos uma espécie de abelha nativa (Klein *et al.* 2007). Ainda assim, apenas aproximadamente uma dúzia de espécies de abelhas é manejada para serviços de polinização em todo o mundo (Kremen *et al.* 2002, Kremen 2008).

Os exemplos de polinizadores utilizados para polinização agrícola incluem abelhas sociais e principalmente espécies que nidificam em cavidades, devido a facilidade de estudo e do próprio manejo (Bosch & Kemp 2002). Entre as abelhas sociais destaca-se a *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, abelha de mel, muito utilizada na polinização de cultivos (Delaplane & Mayer 2000), e as espécies de mamangavas-de-

solo, *Bombus* spp, que são usadas na polinização do tomate (*Solanum lycopersicum*, Solanaceae), para outros cultivos em estufas (Bosch & Kemp 2002) e na polinização de trevos (*Trifolium* spp, Fabaceae) na Nova Zelândia (O'Toole 1993). Entre as abelhas solitárias que nidificam em cavidades, *Megachile rotundata* (Fabricius, 1787) é utilizada na polinização da alfafa (*Medicago sativa*, Fabaceae), sendo um dos exemplos mais bem sucedidos da utilização em grande escala de abelhas silvestres para polinização (Richards 2001), além de *Osmia* spp utilizadas na polinização de frutíferas (Bosch & Kemp 2002). Também são manejadas algumas espécies de abelhas que nidificam no solo como *Nomia melanderi* Cockerell 1906 e *Rhophitoides canus* (Eversmann, 1852), utilizadas na polinização da alfafa (Roubik 1989).

No Brasil tem sido relatados casos de manejos de polinizadores como a utilização de abelhas melíferas na polinização da maçã (*Malus* spp, Rosaceae) e do melão (*Cucumis melo*, Cucurbitaceae), além de alguns estudos experimentais em cultivos como mamona (*Ricinus communis*, Euphorbiaceae) e algodão (*Gossypium* spp, Malvaceae) (B.M. Freitas comunicação pessoal), mas essa prática ainda não é vista como fator importante na produtividade (Freitas & Imperatriz-Fonseca 2005). Outros estudos experimentais incluem as abelhas solitárias do gênero *Xylocopa* no maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*, Passifloraceae) (Camillo 2003, Freitas & Oliveira-Filho 2001) e as abelhas da Tribo Meliponini em distintas culturas, por exemplo, *Melipona subnitida* Ducke, 1910 em pimentão (*Capsicum annum*, Solanaceae) (Cruz *et al.* 2005), *M. fasciculata* Smith, 1854 em plantios de açaí (*Euterpe oleracea*, Arecaceae) (Imperatriz-Fonseca *et al.* 2006) e *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) em morango (*Fragaria* spp, Rosaceae) (Malagodi-Braga & Kleinert 2004).

As discussões sobre a perda dos polinizadores e dos seus serviços de polinização têm aumentado nas últimas décadas (Allen-Wardell *et al.* 1998, Kearns *et al.* 1998) e

são baseadas nas evidências recentes de seu declínio em escala local e regional (ex. Larsen *et al.* 2005, Biesmeijer *et al.* 2006), e da alta taxa de extinção em vários grupos (Millenium Ecosystem Assessment 2005) além do registro de perdas significantes registradas na população dos polinizadores manejados (ex. Williams 1991, Allen-Wardell *et al.* 1998). Abelhas melíferas, principalmente *A. mellifera*, permanecem como o polinizador mais utilizado nas monoculturas mundiais (Williams 1994) e a produtividade dos frutos, sementes e nozes cultivadas podem diminuir mais de 90% na ausência deste polinizador (Southwick & Southwick 1992). Quando as abelhas nativas não visitam os campos agrícolas, o manejo das abelhas melíferas freqüentemente é a solução para garantir a polinização da cultura. Comparando com as espécies nativas, abelhas melíferas são versáteis, baratas e convenientes para o manejo e para alguns cultivos não há polinizadores mais efetivos (Cane 1997, Westerkamp & Gottsberger 2000, Klein *et al.* 2007). Por outro lado, muitos cultivos podem ser polinizados por abelhas nativas ou ambas (Kevan *et al.* 1990, Freitas & Paxton 1998, Ricketts 2004) ou as diferentes espécies podem complementar a visita de outras (Greenleaf & Kremen 2006). Por exemplo, a melancia (*Citrullus lanatus*, Cucurbitaceae) recebe serviços de polinização de mais de 30 espécies de abelhas silvestres além da *A. mellifera* (Kremen *et al.* 2002) e para o cultivo do mirtilo (*Vaccinium myrtillus*, Ericaceae) as espécies de *Bombus* são consideradas polinizadoras mais efetivas que as abelhas melíferas (Cane & Paine 1988).

O número de colônias das abelhas melíferas manejadas está diminuindo em algumas partes do mundo (Delaplane & Mayer 2000). Este declínio está associado a parasitos como *Varroa* spp (Arthropoda, Arachnida), *Aethina túmida* (Arthropoda, Coleoptera) entre outros; pelo uso impróprio de pesticidas e recentemente, pela misteriosa desordem de colapso da colônia, de causa ainda desconhecida, que já reduziu pela metade o número de colônias existentes nos Estados Unidos (Cox-Foster *et al.*

2007). Estes problemas têm refletido na atratividade das atividades apícolas, já desestimuladas pelos baixos preços de mercado de seus produtos e serviços, principalmente na Europa e América do Norte. A preocupação com os déficits de polinização e o risco de utilizar somente a abelha melífera como polinizadora, conduziram a iniciativas que visam à conservação dos polinizadores favorecendo muitos estudos de investigação de espécies nativas.

Por esses fatores, a polinização de cultivos agrícolas é comumente citada como um exemplo de serviço ecossistêmico classificado como ameaçado (Corbet *et al.* 1991, Williams 1994, Ingram *et al.* 1996, Matheson *et al.* 1996, Allen-Wardell *et al.* 1998, Kearns *et al.* 1998, Kevan & Phillips 2001, Steffan-Dewenter *et al.* 2005), ocasionando a “crise global da polinização” e a conseqüente queda na produção de alimentos. Esta “crise da polinização” desencadeou as iniciativas de conservação e uso sustentável dos polinizadores nativos, em princípio pela Iniciativa Internacional dos Polinizadores e paralelamente, outras iniciativas regionais: européia, norte-americana, africana, sudeste asiático e brasileira (Dias *et al.* 1999). Como conseqüências iniciaram-se muitos projetos no sentido de identificar e preencher lacunas no conhecimento necessário para executar as ações efetivas propostas por estas iniciativas (Imperatriz-Fonseca *et al.* 2006). Estes projetos são justificados porque muitos estudos mais detalhados dos sistemas de polinização de cultivos ainda são classificados como incompletos e obsoletos (Klein *et al.* 2007).

Mas Ghazoul (2005) questiona a real existência de uma crise global na polinização já que, aparentemente, a percepção desta crise é proveniente de relatos do declínio da polinização por abelhas melíferas nos cultivos da América do Norte e de espécies de mamangavas-de-solo (*Bombus* spp) e de borboletas na Europa. Algumas considerações do autor levam em conta que a maioria das culturas agrícolas utilizadas na alimentação humana é proveniente de espécies que não necessitam destes agentes,

uma vez que são autopolinizadas ou polinizadas pelo vento. Além disso, argumenta que a produtividade dos cultivos pode ser limitada por outros fatores que não os serviços de polinização, como por exemplo, a disponibilidade de nutrientes ou de água. Desta maneira, o declínio de polinizadores pode ser visto como causa de uma crise na agricultura apenas para cultivos com característica particulares, como aqueles que visam à produção de frutos e/ou sementes, são auto-incompatíveis, ou dependem de um polinizador específico e que apresente limitações nos tamanhos populacionais.

Aizen *et al.* (2008) analisaram os tipos de cultivos agrícolas utilizados nas últimas quatro décadas e observaram um crescimento no número das variedades cultivadas e na extensão da área ocupada por aqueles cultivos que necessitam dos serviços dos polinizadores, ressaltando não apenas a diminuição dos polinizadores, mas também, o aumento da necessidade dos seus serviços. Mas concordam que a importância destes cultivos dependentes de polinização está restrita a algumas áreas do globo e condições específicas. Ghazoul (2005) recomenda que, nestas situações de limitação dos serviços de polinização, seja diversificado o uso das espécies de polinizadores na agricultura, a conservação das áreas naturais para o fornecimento de recursos para os polinizadores e a preferência para sistemas agroflorestais à monoculturas. O autor ressalta ainda que a iniciativa de conservação dos polinizadores é um desenvolvimento merecedor, embora seja baseado em suposições incertas.

De acordo com a necessidade dos serviços de polinização os cultivos podem ser classificados em: (1) cultivos onde o produto consumido é a parte vegetativa e a propagação da espécie também é vegetativa; (2) cultivos onde o produto consumido é de origem vegetativa mas a propagação é feita por sementes após a polinização feita por animais, (3) cultivos onde o produto consumido é o fruto ou a semente sem polinização por animal e (4) cultivos onde o produto consumido é o fruto e/ou semente proveniente

da polinização por animais (Richards 2001). Sendo que para apenas duas destas categorias faz-se necessária a polinização por animais (zoofilia).

Nestes cultivos dependentes de polinização, aqueles que aumentam a produtividade com a polinização feita por animais representam 35% da produção mundial, dos quais 20% são destinados a produção de frutos e outras partes vegetativas e 15% à produção de grãos (Klein *et al.* 2007). Para cultivos europeus, a análise de 264 espécies quanto à dependência de polinizadores, apontou que 84% delas dependem ou se beneficiam da polinização por animais (Williams 1994). Para os cultivos tropicais, há uma lista detalhada para 1330 espécies incluindo informações sobre os seus sistemas reprodutivos e os seus taxa de polinizadores, sendo que cerca de 70% dos cultivos tropicais parece ter pelo menos uma variedade para a qual a produção é melhorada pela polinização animal (Roubik 1995).

Os maiores cultivos mundiais em volume de produção não necessitam dos polinizadores, representam 60% da produção e incluem 18 grandes culturas (Klein *et al.* 2007), tais como trigo (*Triticum* spp, Poaceae), arroz (*Oryza* spp, Poaceae), milho (*Zea* spp, Poaceae) e cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, Poaceae) que são polinizadas pelo vento ( Ghazoul 2005). Por outro lado, as demais culturas apresentam graus variados de dependência de polinizadores (Klein *et al.* 2007) e mesmo aquelas que não dependem dos polinizadores, podem melhorar sua produção (qualidade e produtividade) na presença dos polinizadores. Alimentos como batata (*Solanum tuberosum*, Solanaceae), cenoura (*Daucus carota*, Apiaceae), inhame (*Dioscorea* spp, Dioscoreaceae) e mandioca (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) que se reproduzem vegetativamente e dependem da polinização apenas para a produção de sementes (categoria 2, *sensu* Richards 2001), apresentam cerca de 36% de aumento na produção com a presença dos polinizadores (Klein *et al.* 2007). Muitos grãos e frutos de espécies cultivadas não requerem polinizadores para a sua produção como observado para lentilha (*Lens*

*culinaris*, Fabaceae), amendoim (*Arachis* spp, Fabaceae) e soja (*Glycine max*, Fabaceae) e nem polinização, por exemplo, a banana (*Musa* spp, Musaceae) e o figo (*Ficus carica*, Moraceae), ao contrário do que ocorre com os seus parentes silvestres. Outros cultivos são autoférteis (categoria 3, *sensu* Richards 2001), mas a polinização animal pode aumentar a qualidade e a quantidade dos frutos e sementes, como ocorre com a canola (*Brassica napus*, Brassicaceae), girassol (*Helianthus annuus*, Asteraceae), algodão, pimentão e tomate. Entre as espécies monóicas, existem as culturas autoférteis e as polinizadas pelo vento, nas quais as visitas dos insetos podem aumentar a produção, por exemplo, o côco (*Cocos nucifera*, Arecaceae), ou as culturas que são dependentes dos polinizadores para a produção dos frutos e sementes (categoria 4, *sensu* Richards 2001) como a abóbora (*Cucurbita* spp, Cucurbitaceae), pepino (*Cucumis sativus*, Cucurbitaceae), manga (*Mangifera* spp, Anacardiaceae) e a jaca (*Artocarpus heterophyllus*, Moraceae) (Klein *et al.* 2007).

Plantas auto-incompatíveis que dependem dos polinizadores incluem variedades de café (*Coffea arabica*, Rubiaceae), cardamomo (*Elettaria cardamomum*, Zingiberaceae), maracujá-amarelo e muitos frutos da família Rosaceae, por exemplo, a maçã, a pêra (*Pyrus communis*), a ameixa (*Prunus* spp), a cereja (*Prunus (Cerasus)* spp) e a amêndoa (*Prunus (Amygdalus)* spp). Sugerindo que muitas culturas agrícolas dependentes da polinização zoófila são espécies de menor valor econômico e cultivadas em menor escala, com mercados predominantemente locais (Richards 2001, Ghazoul 2005). Tais culturas são mais concentradas nos países do hemisfério sul, ou em países em desenvolvimento, apresentando cultivos exclusivos tais como a castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae), cacau (*Theobroma cacao*, Sterculiaceae), dendê (*Elaeis guineensis*, Arecaceae) e outros (Aizen *et al.* 2008). Normalmente são culturas que ocorrem em áreas de agricultura sustentável ou em sistemas agrícolas com alta

diversidade e menor intensidade da ação antrópica, fatores que favorecem a diversidade e abundância dos polinizadores (Ghazoul 2005, Aizen *et al.* 2008).

Em alguns locais do Brasil, nas pequenas propriedades, geralmente o produtor não dispõe da estrutura e nem do maquinário necessário para cultivos em larga escala. Nestes casos, as diversas atividades agrícolas como o plantio de pequenas áreas associadas à agropecuária ajudam a sua manutenção no campo. Na Região do Triângulo Mineiro, onde se localiza um dos principais pólos de processamento de algumas frutas tropicais (J.R. Silva comunicação pessoal), a manutenção destes pequenos produtores na zona rural favorece a indústria, e até certo ponto, contribui para a heterogeneidade e conservação ambiental. Desta forma, ainda que esses cultivos sejam feitos em menor escala, possuem grande valor e importância em escala local, corroborando Richards (2001). Mas vale ressaltar que além da contribuição calórica desses alimentos, a dieta humana seria bastante empobrecida, nutricional e culturalmente com o declínio dos polinizadores (Steffan-Dewenter *et al.* 2005, Aizen *et al.* 2008).

Não existem estudos amplos sobre o valor econômico da polinização em sistemas agrícolas ou naturais brasileiros (Freitas & Imperatriz-Fonseca 2005) e as exigências para a polinização das culturas têm sido pouco estudadas. As justificativas são diversas, tais como a falta de conhecimento, falta de enfoque nos cursos acadêmicos, ou porque poucos cultivos necessitam de polinizadores. Talvez o Brasil não tenha sentido ainda a necessidade de incrementar a polinização por causa da diversidade local, diferente dos demais países onde a polinização é considerada fator de produção agrícola (Freitas & Imperatriz-Fonseca 2005). As poucas informações existentes envolvem algumas culturas como acerola (*Malpighia emarginata*, Malpighiaceae), murici (*Byrsonima crassifolia*, Malpighiaceae), goiaba (*Psidium guajava*, Myrtaceae), pimentão, graviola (*Annona muricata*, Annonaceae), mangaba (*Hancornia speciosa*, Apocynaceae), melão, café, maracujá, laranja (*Citrus x sinensis*,

Rutaceae), soja, algodão, caju (*Anacardium occidentale*, Anacardiaceae) e maçã (Freitas & Paxton 1996, Aguiar *et al.* 2000, Pereira 2001, Ribeiro & Couto 2002, Freitas & Oliveira-Filho 2001, DeMarco & Coelho 2004, Freitas & Pereira 2004, Darrault & Schlindwein 2005, Silva *et al.* 2005, Vilhena & Augusto 2007). E outras como urucum (*Bixa orellana*, Bixaceae), berinjela (*Solanum melongena*, Solanaceae), abóbora, mamona, girassol, pinhão manso (*Jatropha curcas*, Euphorbiaceae), castanha-do-Brasil, alfafa, kiwi (*Actinidia deliciosa*, Actinidiaceae) (B.M. Freitas comunicação pessoal), contudo os dados ainda são escassos para uma análise mais robusta. Contudo para se ter uma idéia, usando apenas os dados de oito dos cultivos estudados (melão, café, maracujá, laranja, soja, algodão, caju e maçã), que são importantes para a economia brasileira, tanto para exportação quanto para o mercado interno, os rendimentos são próximos a US\$9.204,2 milhões anuais, ocupando uma área de 27.345.000ha no Brasil (Freitas & Imperatriz-Fonseca 2005).

Em geral, a ameaça aos polinizadores nativos nos países desenvolvidos é a agricultura intensiva, enquanto que nos países em desenvolvimento, o desmatamento e a destruição das áreas naturais são apontados como as principais causas (Aizen *et al.* 2008). Outros fatores não menos importantes incluem o uso de agrotóxicos, a introdução de espécies exóticas, a poluição ambiental, doenças e parasitos nos polinizadores manejados (Kevan & Imperatriz-Fonseca 2006).

### **3. O SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO E A CONSERVAÇÃO DAS ÁREAS NATURAIS**

Existem dois aspectos importantes e interconectados para os fornecedores dos serviços de polinização, aqueles que são necessários para a agricultura bem sucedida e os destinados à manutenção da biodiversidade (Imperatriz-Fonseca 2004). Ambos dependem da sobrevivência dos habitats naturais e das culturas agrícolas. Sabe-se que a reprodução das plantas nativas é afetada pela fragmentação (Aguilar *et al.* 2006),

embora tanto plantas quanto polinizadores apresentem características biológicas particulares que resultam em diferentes respostas ecológicas sobre os efeitos da fragmentação de hábitat (Waser *et al.* 1996, Aizen & Feisinger 2003). Sendo assim, a reprodução sexual das plantas pode ser diferentemente susceptível a fragmentação de hábitat dependendo dos fatores que caracterizam o grau de dependência e especialização de seus polinizadores (Aguilar *et al.* 2006).

A fragmentação e a degradação dos habitats naturais ou semi-naturais próximos aos cultivos podem ser prejudiciais para a comunidade de abelhas (Kremen *et al.* 2002, 2004, Steffan-Dewenter *et al.* 2002, 2006, Larsen *et al.* 2005, Cane *et al.* 2006, Kremen *et al.* 2007, Steffan-Dewenter & Westphal 2008). A principal causa é atribuída à perda ou dissociação dos recursos alimentares e de nidificação (Hines & Hendrix 2005, Potts *et al.* 2005, Kremen *et al.* 2007). Os efeitos da alteração da paisagem são conhecidos por afetar comunidades de herbívoros, insetos predadores e parasitos em agroecossistemas (Cronin & Reeve 2005, Tscharnkte *et al.* 2005, Bianchi *et al.* 2006). Uma avaliação similar do impacto da paisagem na polinização de cultivos foi feita recentemente por Ricketts *et al.* (2008) apontando um declínio nas taxas de visitação dos polinizadores com o aumento da distância dos seus habitats refletindo o potencial da ameaça da destruição de áreas naturais.

A polinização é essencial para a produção de muitos cultivos, mas a interação entre os polinizadores nativos e as práticas atuais da agricultura não tem sido bem resolvidas. O uso de inseticidas, por exemplo, favorece o cultivo, mas afeta negativamente a comunidade dos polinizadores (Morandin & Winston 2005). A confiança em uma única ou em apenas algumas espécies de polinizadores para a produção agrícola é uma estratégia de alto risco devido a perda potencial destes serviços. Desta forma, os polinizadores nativos podem fornecer um seguro crescente para a polinização contínua de cultivos, além da sua função natural de polinização de

flores nativas. E para manter ou aumentar a diversidade e a abundância dos polinizadores, habitats semi-naturais têm sido tradicionalmente implantados em medidas de conservação e projetos agro-ambientais (Institute for European Environmental Policy 2002). Estas iniciativas apresentam respostas variadas conforme as espécies de abelhas observadas em cada área (como em Greenleaf & Kremen 2006 com o girassol e DeMarco & Coelho 2004 com o café).

Kremen *et al.* (2007) propuseram um modelo conceitual para entender os impactos da mudança de uso da terra e da paisagem nos serviços de polinização (Figura 1), onde a forma de uso da terra altera a paisagem local. Tais mudanças vêm afetando a estrutura da paisagem que envolve as comunidades de plantas e de polinizadores, que por sua vez, são influenciados pelos fatores bióticos e abióticos (ex. predadores, patógenos, competidores, mutualistas, disponibilidade de recursos críticos e outros). Neste sistema, a planta alvo é visitada e polinizada por um subconjunto de espécies da comunidade de polinizadores. Esta interação é dependente da composição de ambas as comunidades, de plantas e de polinizadores, em torno da planta-alvo e de suas interações. O valor do serviço de polinização depende do contexto geográfico no qual ocorre, incluindo os fatores ecológicos, econômicos, sociais e políticos. Este valor pode ser utilizado como ferramenta para viabilizar ações na economia e na política ambiental, os quais afetam as decisões sobre o uso da terra e as práticas de manejo influenciando as escalas locais e de paisagem em diversos níveis e tipos de distúrbios.

Os polinizadores utilizados em manejos comerciais também se encaixam neste modelo conceitual e são influenciados direta e indiretamente pelos mesmos processos a nível local e de paisagem. Em compensação, os polinizadores manejados influenciam as comunidades de plantas e polinizadores por mecanismos de competição ou mutualismo. Entretanto, em alguns casos, a distribuição e a abundância dos polinizadores comerciais são também dirigidas por forças econômicas, tais como a demanda de mercado para os

serviços de polinização, por criadores de abelhas e pelo preço dos produtos das colméias (Kremen *et al.* 2007).

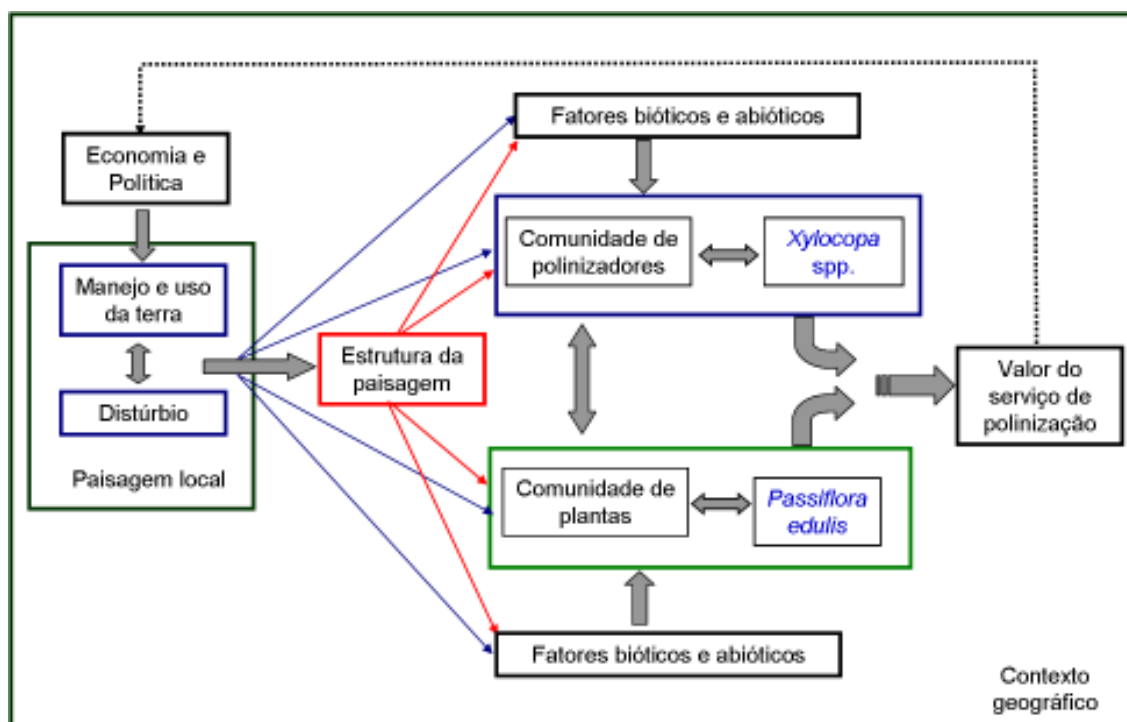


Figura 1 - Modelo conceitual dos impactos da mudança de usos da terra nos serviços de polinização. Fonte: traduzido de Kremen *et al.* 2007.

A conservação dos habitats naturais próximos aos cultivos pode ajudar na manutenção dos serviços de polinização. Alguns estudos mostram uma relação positiva significativa entre os serviços de polinização de cultivos e a proximidade dos fragmentos naturais (ex. DeMarco & Coelho 2004, Kremen *et al.* 2004, Klein *et al.* 2007). As populações das abelhas nativas que polinizam plantas cultivadas são mais abundantes e mais diversas próximas a ambientes naturais (Klein *et al.* 2002, Ricketts 2004, Ricketts *et al.* 2004, Kremen *et al.* 2004). Mas outros estudos apontam o efeito contrário ou a pouca influência na taxa de visitas dos polinizadores dos cultivos em uma paisagem intensivamente modificada pelo homem (ex. Winfree *et al.* 2007, Chacoff *et al.* 2008).

Para a manutenção dos serviços de polinização faz-se necessário reavaliar a política de conservação dos habitats naturais a fim de disponibilizar os recursos imprescindíveis para a manutenção dos polinizadores nativos. Recursos incluem locais de nidificação (ex. cavidades em troncos, substrato adequado no solo) e recursos florais suficientes (ex. néctar, pólen) (Kremen *et al.* 2007). Além disso, as abelhas apresentam um comportamento de sempre retornar ao local de nidificação após o forrageamento, reforçando a idéia de que a relativa proximidade dos locais de nidificação e dos campos agrícolas é crítica para os cultivos polinizados por abelhas (Delaplane & Mayer 2000, Gathmann & Tscharnke 2002).

Numa meta-análise envolvendo 16 cultivos distribuídos nos cinco continentes, observou-se um acentuado declínio da riqueza e da taxa de visitas dos polinizadores nativos com o aumento da distância das áreas naturais sendo que a riqueza de espécies reduziu pela metade a 1,5 km de distância e a taxa de visitas em 0,6 km (Ricketts *et al.* 2008). Também se observou que a diminuição da taxa de visitas dos polinizadores foi mais acentuada nas áreas tropicais do que nas temperadas e o efeito foi mais marcante nas abelhas sociais que nas solitárias (Ricketts *et al.* 2008). As espécies de polinizadores que ocorrem nas diferentes regiões estudadas e o comportamento de nidificação diferenciado das mesmas podem explicar tais variações. Por exemplo, nas áreas tropicais, as abelhas sem ferrão, de menor porte e menor capacidade de vôo, costumam usar cavidades de troncos de árvores como locais de nidificação nas florestas, enquanto que nas áreas temperadas, as mamangavas-de-solo são as espécies mais frequentes. Estas abelhas de maior porte, que nidificam em cavidades no solo, têm maior autonomia de vôo e, portanto, estariam mais aptas a viver em ambientes mais antropizados (Michener 2000). No entanto, existem exceções como as abelhas que exigem maior qualidade ambiental, a exemplo das abelhas carpinteiras, *Xylocopa* spp, que nidificam em troncos (Hurd 1978; Camillo & Garófalo, 1982, Freitas & Oliveira-Filho 2001) e as

mamangavas-de-solo sociais, que nidificam não somente no solo, mas também na vegetação herbácea (Michener 2000, Osborne *et al.* 2008). Além da disponibilidade dos sítios de nidificação, a diversidade dos recursos florais nas áreas de ocorrência, como a encontrada em ambientes tropicais, é outro fator a ser considerado porque torna o cultivo menos atrativo para os polinizadores. Tal fato, associado a diferença da estação reprodutiva das abelhas, contínua para as espécies sociais, também afetam os serviços de polinização, já que há necessidade ininterrupta dos recursos florais provenientes dos habitats naturais. Isto contrasta com o requerido pelas abelhas solitárias, que apresentam uma estação reprodutiva mais curta e podem ser capazes de completar seu ciclo durante o período produtivo do cultivo, podendo então nidificar dentro do próprio campo ou nas imediações de áreas cultivadas (Cane 1997).

Embora Ricketts *et al.* (2008) tenham apontado o consenso encontrado na literatura, sobre a importância da conservação das áreas naturais para a manutenção dos polinizadores, os autores ressaltam que os efeitos da paisagem nos serviços de polinização podem variar substancialmente de maneiras ainda pouco entendidas. Os autores sugerem estudos envolvendo medidas diretas dos efeitos dos polinizadores na produtividade do cultivo, com experimentos controlados, o estabelecimento de métodos consistentes para estudos de polinização e a busca por mais informações sobre o efeito do tamanho e qualidade das áreas naturais na população dos polinizadores e nos cultivos.

#### **4. O MODELO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

Com base no exposto anteriormente, é possível pensar que há uma relação entre os serviços de polinização dos cultivos e os efeitos da alteração na paisagem, sugerindo, além disso, que as necessidades de cada cultura e o bioma no qual estão inseridos sejam variáveis importantes para serem levadas em consideração (Ricketts *et al.* 2008). Mas

estes efeitos seriam observáveis apenas em cultivos que atendessem aos critérios propostos por Ghazoul (2005) quanto à sensibilidade ao declínio de polinizadores. Como o maracujá foi sempre incluído entre os exemplos de cultivos que respondem àqueles critérios (Ricketts *et al.* 2008), procurou-se discutir aqui a relação do serviço de polinização com a produção deste cultivo e o impacto, sobre esta interação, do nível de conservação das áreas naturais do Cerrado na Região do Triângulo Mineiro.

A região de estudo está inserida no bioma Cerrado, uma das 25 áreas do mundo descritas como *hot-spots* de biodiversidade (Myers *et al.* 2000), o que indica uma forma de alerta contra a ameaça de degradação dessa biodiversidade. A destruição do Cerrado tem sido resultante do intenso aumento das áreas agrícolas (Cavalcante & Joly 2002). As estimativas mais recentes da degradação do Cerrado apontam em 80% de conversão das áreas naturais em cultivadas (Myers *et al.* 2000). Sendo que o Triângulo Mineiro é citado como uma das regiões de maior impacto humano sobre o Cerrado, com estimativas entre 50% a 92% de degradação (Cavalcante & Joly 2002). As áreas de vegetação natural no município de Uberlândia, por exemplo, mantém apenas cerca de 18% da vegetação original, e mais de 40% da sua área está ocupada por pastagens abertas, resultantes de processos de antropização típicos da região (Brito & Prudente 2005). Além disso, a utilização da madeira em carvoaria e o uso intensivo do solo pela expansão de plantios de soja e outras culturas de ciclo curto podem ter um impacto ainda maior sobre a disponibilidade de substratos para nidificação dos polinizadores do maracujá e conseqüentemente, para a disponibilidade de serviços de polinização.

O maracujá-amarelo é cultivado na região por pequenos produtores em áreas inferiores a 10ha (H.J. de Oliveira comunicação pessoal) e normalmente constitui uma fonte de renda complementar para o produtor. O estado de Minas Gerais produz em torno de 45.000 toneladas de frutos numa área plantada de 3.065ha e para o Brasil são produzidas quase 480.000 toneladas de frutos/ano, em uma área de 35.000ha (Agrianual

2008). Na região do Triângulo Mineiro existem indústrias processadoras de suco de frutas tropicais, especialmente o maracujá-amarelo, que estabelecem acordos com os produtores e acabam incentivando o cultivo.

O maracujá-amarelo, *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger (Passifloraceae) possui flores perfeitas, grandes, coloridas, odoríferas e produzem néctar abundante (Akamine & Girolami 1957). As flores se abrem à tarde, a partir das 12h e se fecham em torno das 22h e não se abrem mais (Sazima & Sazima 1989). As características florais, a protandria e principalmente o sistema de auto-incompatibilidade (Bruckner *et al.* 1995, Rêgo *et al.* 2000) fazem com que o serviço de polinização biótica seja necessário para a produção de frutos. As abelhas de grande porte, especialmente as pertencentes ao gênero *Xylocopa*, são os polinizadores efetivos do maracujá-amarelo (ex. Sazima & Sazima 1989, Camillo *et al.* 1994, Capítulo 2). São abelhas de hábitos solitários, que nidificam em troncos e que utilizam néctar e pólen como alimento, inclusive para as suas crias. Esta interação envolve características de um polinizador mais exigente quanto a conservação das áreas pela necessidade dos recursos alimentares e locais de nidificação (Ricketts *et al.* 2008) e caracteriza o cultivo como claramente ameaçado pelo declínio de polinizadores (Ghazoul 2005).

## 5. OBJETIVOS E APRESENTAÇÃO DA TESE

O objetivo geral da tese foi verificar a influência de remanescentes naturais de cerrado no entorno dos cultivos, na polinização e na produtividade do maracujá-amarelo na Região do Triângulo Mineiro.

A estruturação da tese ficou disposta da seguinte maneira:

No capítulo 1 apresentamos a riqueza das abelhas nativas polinizadoras do maracujá-amarelo em áreas de cultivo dos municípios de Uberlândia e Araguari, MG, comparando os sistemas de produção e discutindo propostas de conservação e o uso sustentável dos serviços de polinização na região.

No capítulo 2 examinamos a frequência de visitas e o comportamento dos polinizadores do maracujá-amarelo na região do Triângulo Mineiro, verificamos a disponibilidade de pólen após a abertura das flores e estimamos o tamanho populacional dos polinizadores em uma área de cultivo relacionando ao serviço de polinização.

No capítulo 3 verificamos a relação entre a cobertura de áreas naturais de cerrado no entorno dos cultivos do maracujá-amarelo e a riqueza de espécies de polinizadores encontrados na região do Triângulo Mineiro e conseqüentemente, se esses fatores podem influenciar na polinização e frutificação natural do cultivo. Além de complementar as informações acerca da limitação de pólen do cultivo.

E finalmente, nas considerações finais, resumizamos os principais resultados encontrados, inserimos o modelo do cultivo do maracujá-amarelo no modelo teórico proposto por Kremen *et al.* (2007) e apresentamos as conclusões, recomendações e sugestões de futuros estudos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2008. São Paulo. FNP Consultoria e Comércio. 502p.
- AGUIAR, J.R.; BUENO, D.M.; FREITAS, B.M. & SOARES, A.A. 2000. Tecido nutritivo em flores da gravioleira *Annona muricata* L. *Revista Ciência Agronômica*, 31: 51-55.
- AGUILAR, R.; ASHWORTH, L.; GALETTO, L. & AIZEN, M.A. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters*, 9: 968-980.
- AIZEN, M.; GARIBALDI, L.A.; CUNNINGHAM, S.A. & KLEIN, A.M. 2008. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology* doi:10.1016/j.cub.2008.08.066
- AIZEN, M.A. & FEINSINGER, P. 2003. Bees not to be? Responses of insect pollinator faunas and flower pollination to habitat fragmentation. Pp. 111–129. In: G.A. Bradshaw, P.A. Marquet & H.A. Mooney (eds.). *Disruptions and Variability: the Dynamics of Climate, Human Disturbance and Ecosystems in the Americas*. Springer-Verlag, Berlin. 362p.
- AKAMINE, E.K. & GIROLAMI, G. 1959. Pollination and fruit set in the yellow passion fruit. *Hawaii Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*, 39: 1-44.
- ALLEN-WARDELL, G.; BERNHARDT, P.; BITNER, R.; BURQUEZ, A.; BUCHMANN, S.; CANE, J.; COX, P.A.; DALTON, V.; FEINSINGER, P.; INGRAM, M.; INOUE, D.; JONES, C.E.; KENNEDY, K.; KEVAN, P.; KOPOWITZ, H.; MEDELLIN, R.; MEDELLIN-MORALES, S.; NABHAN, G.P.; PAVLIK, B.; TEPEDINO, V.; TORCHIO, P. & WALKER, S. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 12: 8-17.
- BIANCHI, F.J.J.A.; BOOIJ, C.J.H. & TSCHARNTKE, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Science*, 273: 1715–1727.
- BIESMEIJER, J.C.; ROBERTS, S.P.M.; REEMER, M.; OHLEMÜLLER, M.; PEETERS, T.; SCHAFFERS, A.P.; POOTS, S.G.; KLEUKERS, R.; THOMAS, C.D.; SETTELE, J. & KUNIN, W.E. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313: 351-354.
- BOSCH, J. & KEMP, W.P. 2002. Developing and establishing bee species as crop pollinators: the example of *Osmia* spp (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. *Bulletin of Entomological Research*, 92: 3-16.
- BRITO, J.S. & PRUDENTE, T.D. 2005. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens ccd/cbers 2 *Caminhos de Geografia*, 13: 144-153.
- BRUCKNER, C.H.; CASALI, V.W.D.; MORAES, C.F.; REGAZZI, A.J. & DA SILVA, E.A.M. 1995. Self-incompatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Horticulturae*, 370: 47-57.
- BUCHMANN, S.L. & NABHAN, G.P. 1996. *The forgotten pollinators*. Washington, DC: Island Press. 262p.
- CAMILLO, E. 2003. *Polinização do Maracujá*. Holos Editora, Ribeirão Preto, SP. 44p.
- CAMILLO, E. & GARÓFALO, C.A. 1982. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in Southern Brazil. I - Nest construction and biological cycle. *Revista Brasileira de Biologia*, 42: 571-582.

- CAMILLO, E., GARÓFALO, C.A. & SERRANO, J.C. 1994. Aspectos bionômicos de *Centris vittata* (Hymenoptera, Anthophoridae) em ninhos armadilhas. Pp. 298. In: Anais do 1º Encontro sobre Abelhas de Ribeirão Preto, SP. 308p.
- CANE, J.H. 1997. Ground-nesting bees: the neglected pollinator resource for agriculture. *Acta Horticulturae*, 437: 309-323.
- CANE, J.H.; MINCKLEY, R.; ROULSTON, T.; KERVIN, L. & WILLIAMS, N.M. 2006. Multiple response of desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation. *Ecological Application*, 16: 632-644.
- CANE, J.H. & PAYNE, J.A. 1988. Foraging ecology of the bee, *Habropoda laboriosa* (Hymenoptera: Anthophoridae), an oligolege of blueberries (Ericaceae: *Vaccinium*) in the Southeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 81: 419-427.
- CAVALCANTE, R. & JOLY, C. 2002. The conservation of cerrados. Pp. 351-367. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna Columbia University Press, New York. 398p.
- CHACOFF, N.P.; AIZEN, M.A. & ASCHERO, V. 2008. Proximity to forest edge does not affect crop production despite pollen limitation. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Science*, 275: 907-913.
- CORBET, S.A.; WILLIAMS, I.H. & OSBORNE, J.L. 1991. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European community. *Bee World*, 72: 47-59.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DEGROOT, R.; FARBER, S. & GRASSO, M. 1997. The value of the world's service and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- COX-FOSTER, D.L.; COLNAN, S.; HOLMES, E.C.; PALACIOS, G.; EVANS, J.D.; MORAN, N.A.; QUAN, P.L.; BRIESE, T.; HORNIG, M.; GEISER, D.M.; MARTINSON, V.; VANENGELSDORP, D.; KALKSTEIN, A.L.; DRYSDALE, A.; HUI, J.; ZHAI, J.; CUI, J.; HUTCHISON, S.K.; SIMONS, J.F.; EGHOLM, M.; PETTIS, J.S. & LIPKIN, W.I. 2007. A metagenomic survey of microbes in honeybee colony collapse disorder. *Science*, 318: 284-286.
- CRONIN, J.T. & REEVE, J.D. 2005. Host-parasitoid spatial ecology: a plea for a landscape-level synthesis. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 272: 2225-2235.
- CRUZ, D.D.; FREITAS B.M.; SILVA, L.A.; SILVA, E.M.S. & BOMFIN, I.G.A. 2005. Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 1197-1201.
- DAILY, G.C.; SÖDERQVIST, T.; ANIYAR, S.; ARROW, K.; DASGUPTA, P.; EHRLICH, P.; FOLKE, C.; JANSSON, A-M.; JANSSON, B-O.; KAUTSKY, N.; LEVIN, S.; LUBCHENCO, J.; MÄLER, K-G.; SIMPSON, D.; STARRETT, D.; TILMAN, D. & WALKER, B. 2000. The value of nature and the nature of value. *Science*, 289: 395-396.
- DARRAULT, R.O. & SCHLINDWEIN, C. 2005. Limited fruit production in *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and pollination by nocturnal and diurnal insects with long mouth parts. *Biotropica*, 37: 381-388.
- D'ÁVILA, M. & MARCHINI, L.C. 2005. *Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil*. Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP. 90p.
- DELAFLANE, K.S. & MAYER, D.F. 2000. *Crop pollination by bees*. New York, NY: CABI Publishing. 364pp.
- DEMARCO, P. & COELHO, F.M. 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1245-1255.
- DIAS, B.F.S.; RAW, A. & IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. 1999. *International Pollinators Initiative: The São Paulo Declaration on Pollinators*. Report on the

- recommendations of the Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture with Emphasis on Bees. Ministry of Environment (MMA), University of Sao Paulo (USP) and Brazilian Corporation for Agricultural Research (Embrapa), Brasília. 79p.
- FAO. 2004. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response. p. 19-25. In: B.M. Freitas & J.O.P. Pereira, (eds.) Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination. Imprensa Universitária. Fortaleza, Brasil. 282p.
- FREITAS, B.M. & PAXTON, B.M. 1996. The role of wind and insects in cashew (*Anacardium occidentale*) pollination in NE Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 126: 319-326.
- FREITAS, B.M. & PAXTON, B.M. 1998. A comparison of two pollinators: the introduced honeybee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of NE Brazil. *Journal of Applied Ecology*, 35: 109-121.
- FREITAS, B.M. & OLIVEIRA-FILHO, J.H. 2001. *Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas*. Fortaleza: BNB. 96p.
- FREITAS, B.M. & PEREIRA, J.O.P. 2004. Crop consortium to improve pollination: can West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) attract *Centris* bees to pollinate cashew (*Anacardium occidentale*)? p. 193-201. In: B.M. Freitas & J.O.P. Pereira (eds.). Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination. 282p.
- FREITAS, B.M. & IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. 2005. A importância econômica da polinização. *Mensagem Doce*, 80: 44 - 46.
- GALLAI, N.; SALLES, J.M.; SETTELE, J. & VAISSIÈRE, B.E. 2008. Economic evaluation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- GATHMANN, A. & TSCHARNTKE, T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology*, 71: 757-764.
- GHAZOUL, J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 367-373.
- GREENLEAF, S.S. & KREMEN, C. 2006. Wild bees enhance honeybees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 13890-13895.
- HINES, H.M. & HENDRIX, S.D. 2005. Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) diversity and abundance in tallgrass prairie patches: effects of local and landscape floral resources. *Environmental Entomological*, 34: 1477-1484.
- HURD, P.J. 1978. *An annotated catalog of the carpenter bees (Genus Xylocopa) of the Western Hemisphere (Hymenoptera: Anthophoridae)*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 106p.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. 2004. *Serviços aos ecossistemas, com ênfase nos polinizadores e polinização*. 10p. In <http://www.ib.usp.br/vinces/logo/vera.pdf>. Acesso em 20/06/2008.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; SARAIVA, A.M. & JONG, D. 2006. *Bees as Pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices*. Holos Editora, Ribeirão Preto, SP. 114p.
- INGRAM, M.; NABHAN, G.C. & BUCHMANN, S.L. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet*, 7: 1.
- INSTITUTE FOR EUROPEAN ENVIRONMENTAL POLICY. 2002. <http://www.ieep.eu/projectminisites>. Acesso em 20 de junho de 2008.
- KEARNS, C.A.; INOUE, D.W. & WASER, N.M. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 29: 83-112.

- KEVAN, P.G.; CLARK, E.A. & THOMAS, V.G. 1990. Insect pollinators and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 5: 12–22.
- KEVAN, P.G. & IMPERATRIZ-FONSECA V.L. 2006. *Pollinating bees: The conservation link between agriculture and nature*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF. 336p.
- KEVAN, P.G. & PHILLIPS, T.P. 2001. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. *Conservation Ecology*, 5: 8. URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art8>.
- KLEIN, A.M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; BUCHORI, D. & TSCHARNTKE, T. 2002. Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower-visiting and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology*, 16: 1003-1014.
- KLEIN, A.M.; VAISSIERE, B.E.; CANE, J.H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C. & TSCHARNTKE, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, 274: 303-313.
- KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M. & THORP, R.W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99: 16812-19816.
- KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M.; BUGG, R.L.; FAY, J.P. & THORP, R.W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*, 7: 1109-1119.
- KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M.; AIZEN, M.A.; GEMMIL-HERREN, B.; LEBUHN, G.; MINCKLEY, R.; PACKER, L.; POTTS, S.G.; ROULSTON, T.; STEFFAN-DEWENTER, I.; VÁZQUEZ, P.; WINFREE, R.; ADAMS, L.; CRONE, E.E.; GREENLEAF, S.S.; KEIT, T.H.; KLEIN, A.M.; REGETZ, J. & RICKETTS, T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology letters*, 10: 299-314.
- KREMEN, C. 2008. Crop pollination services from wild bees. In Bee pollination in agricultural ecosystems. p. 10-26. In: R. R. James & T.Pitts-Singer (eds). Oxford University Press, Oxford, UK. 232p.
- LARSEN, T.H.; WILLIAMS, N.M. & KREMEN, C. 2005. Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. *Ecology Letters*, 8: 538-547.
- MALAGODI-BRAGA, K.S. & KLEINERT A.D.P. 2004. Could *Tetragonisca angustula* Latreille (Apinae, Meliponini) be effective as strawberry pollinator in greenhouses? *Australian Journal of Agricultural Research*, 55: 771-773.
- MATHESON, A.; BUCHMANN, S.L.; O'TOOLE, C.; WESTRICH, P. & WILLIAMS, J.H. 1996. *The conservation of bees*. Academic Press, London, UK. 254p.
- MICHENER, C.D. 2000. *The bees of the world*. John Hopkins, Baltimore. 913p.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005. Ecosystem and Human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC. 100p.
- MORANDIN, L.A. & WINSTON, M.L. 2005. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Application*, 15: 871-881.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- OSBORNE, J.L.; MARIN, A.P.; SHORTALL, C.R.; TODD, A.D.; GOULSON, D.; KNIGHT, M.; HALE, R.J. & SANDERSON, R.A. 2008. Quantifying and comparing bumblebee nest densities in gardens and countryside habitats. *Journal of Applied Ecology*, 45: 784-793

- O'TOOLE, C. 1993. Diversity of native bees and agroecosystems. Pp. 169-196. In: J. LaSalle & I. D. Gauld (eds.). *Hymenoptera and Biodiversity*. CAB International, Wallingford. 368p.
- PEREIRA, J.O.P. 2001. *O papel de abelhas do gênero Centris na polinização e sucesso reprodutivo do muricizeiro (Byrsonima crassifolia L.)*. Dissertação de mestrado. UFC, Fortaleza, Brasil. 58p.
- PITTS-SINGER, T.L. & JAMES, R.R. 2008. Bees in Nature and on the farm. Pp 3-9. In: R.R. James & T.L. Pitts-Singer (eds.). *Bee pollination in agricultural systems*. Oxford University Press. 232p.
- POTTS, S.G.; VULLIAMY, B.; ROBERT, S.; O'TOOLE, C.; DAFNI, A.; NEEMAN, G. & WILLMER, P. 2005. Role of nesting resources in organizing diverse bee communities in a Mediterranean landscape. *Ecological Entomology*, 30: 78–85.
- POTTS, S.G.; PETANIDOU, T.; ROBERTS, S.; O'TOOLE, C.; HULBERT, A. & WILLMER, P. 2006. Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex Mediterranean landscape. *Biological Conservation*, 129: 519-529.
- RÊGO, M.M.; RÊGO, E.R.; BRUCKNER, C.H.; SILVA, E.A.M.; FINGER, F.L. & PEREIRA, K.J.C. 2000. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses. *Theoretical and Applied Genetics*, 101: 685-689.
- RIBEIRO, A.M.F. & COUTO, R.H.N. 2002. Polinização entomófila de soja (*Glycine max*), cultivar Conquista. In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Apicultura, Campo Grande, MS. (CD-Rom).
- RICHARDS, A. J. 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Annals of Botany*, 88: 165-172.
- RICKETTS, T.H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 18: 1262-1271.
- RICKETTS, T.H.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. & MICHENER, C.D. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 12579 -12582.
- RICKETTS, T.H.; REGETZ, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C.; BOGDANSKI, A.; GEMMIL-HERREN, B.; GREENLEAF, S.S.; KLEIN, A.M.; MAYFIELD, M.M.; MORANDIN, L.A.; OCHIENG, A. & VIANA, B.F. 2008. Landscape effects on crop pollinations services: are there general patterns? *Ecology Letters*, 11: 499-515.
- ROUBIK, D.W. 1989. *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge, Cambridge University Press. 528p.
- ROUBIK, D.W. 1995. *Pollination of cultivated plants in the tropics*. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy. Bull. 118.
- ROUBIK, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417: 708.
- SAZIMA, I. & SAZIMA, M. 1989. Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e conseqüências para a polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 33: 109-118.
- SILVA, E.M.S.; FREITAS, B.M.; SILVA, L.A.; CRUZ, D.O. & BOMFIM, I.G.A. 2005. Biologia floral do pimentão (*Capsicum annuum*) e a utilização da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) como polinizador em cultivo protegido. *Revista Ciência Agronômica*, 36: 386-390.
- SOUTHWICK, E.E. & SOUTHWICK JR, L. 1992. Estimating the economic value of honeybees (Hymenoptera: Apidae) as agricultural pollinators in the United States. *Journal of Economic Entomology*, 85: 621–633.
- STEFFAN-DEWENTER, I.; MUNZENBERG, U.; BURGER, C.; THIES, C. & TSCHARNTKE, T. 2002. Scale-dependent effects of landscape structure on three pollinator guilds. *Ecology*, 83: 1421–1432.

- STEFFAN-DEWENTER, I.; POTTS, S.G. & PACKER, L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 651-652.
- STEFFAN-DEWENTER, I., KLEIN, A.M., ALFERT, T., GAEBELE, V. & TSCHARNTKE, T. 2006. Bee diversity and plant-pollinator interactions in fragmented landscapes. pp. 387-408. In: N.M. Waser & J. Ollerton (eds.). *Specialization and generalization in plant-pollinator interactions* Chicago, Chicago Press. 445p.
- STEFFAN-DEWENTER, I. & WESTPHAL, C. 2008. The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology*, 45: 737-741.
- SUNDRIYAL, M. & SUNDRIYAL, R. C. 2004. Wild edible plants of the Sikkim Himalaya: nutritive values of selected species. *Economic Botany*, 58: 286-299.
- TSCHARNTKE, T.; KLEIN, A.M.; KRUESS, A.; STEFFAN-DEWENTER, I. & THIES, C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8: 857-874.
- VILHENA, A.M.G.F. & AUGUSTO, S.C. 2007. Polinizadores de aceroleira *Malpighia emarginata* DC (Malpighiaceae) em área de cerrado no Triângulo Mineiro. *Bioscience Journal*, 223: 14-23.
- WASER, N.M., CHITTKA, L., PRICE, M.V., WILLIAMS, N.M., OLLERTON, J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters? *Ecology* 77: 1043-1060.
- WESTERKAMP, C. & GOTTSBERGER, G. 2000. Diversity pays in crop pollination. *Crop Science*, 40: 1209-1222.
- WILLIAMS, I. H. 1991. Crop Pollination and Sustainable Agriculture in the Nineties and Beyond. *Bee World*, 72: 45-46.
- WILLIAMS, I.H. 1994. The dependences of crop production within the European Union on pollination by honeybees. *Agricultural Zoology Review*, 6: 229-257.
- WINFREE, R.; WILLIAMS, N.M.; DUSHOFF, J. & KREMEN, C. 2007. Native bees provide insurance against ongoing honeybee losses. *Ecology Letters*, 10: 1105-1113.

# **CAPÍTULO 1**

## **POLLINATION AND PRODUCTION OF YELLOW PASSION FRUIT IN TRIÂNGULO MINEIRO REGION, SOUTHEAST OF BRAZIL**

## CAPÍTULO 1

### POLLINATION AND PRODUCTION OF YELLOW PASSION FRUIT IN TRIÂNGULO MINEIRO REGION, SOUTHEAST OF BRAZIL

Este capítulo foi preparado para submissão para a Biotropica e a formatação obedece às normas do periódico. Parte dos resultados (ano de 2004 e início de 2005) foi coletada durante o Projeto Probio conv. 0112-00/2005. São co-autores: Cláudia Inês Silva, Solange Cristina Augusto, Ana Angélica Almeida Barbosa e Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira.

Pollination is an important service provided by animals since 35% of global crop production is somewhat dependent on pollinators (Klein *et al.* 2007). It is usually a critical step in crop production since it promotes sexual reproduction of most plant species (Westerkamp & Gottsberger 2000) and has crucial importance when cross pollination is necessary (Kearns *et al.* 1998). Even crop plants which do not depend directly on the pollination process may present higher productivity and better quality of fruits and seeds with pollinators' presence, as noted with coffee in Central America (Roubik 2002) and Brazil (DeMarco & Coelho 2004). Moreover, the decline of pollinators can lead to a decrease of flowering plant species in the wild (Biesmeijer *et al.* 2006). Such importance has led to increasing concern about the loss of pollinators and pollination services in the last decades (Allen-Wardell *et al.* 1998, Kearns *et al.* 1998). However, there is little information all over the world concerning the status of wild pollinator or of pollination function for many crop plants (Klein *et al.* 2007, Kremen *et al.* 2007).

The yellow passion fruit is widely cultivated in Brazil and its fruits are used both consumed *in natura* and in the juice industry (Souza *et al.* 2004). Brazil is the main producer of yellow passion fruit with more than 35,000 ha of planted area and almost 480,000 tons per year of fruit production (Agrianual 2008). Minas Gerais State

produced in 2005, about 45,000 tons in 3,063 ha (Agrianual 2008). Thus, the passion fruit crop has been an important factor in sustainable development process of some areas as the Triângulo Mineiro region, the main industrial pole of passion fruit juice processing in Brazil (Silva 2005).

The passion fruit depends on cross-pollination and requires either natural pollinators or active hand pollination for fruit production (Camillo 2003). The hand pollination procedure demands training of many employees; it is restricted to periods of flower abundance and increases in *ca* 15% the production costs in the Triângulo Mineiro region (Silva 2005). Due to the relatively large flowers, pollinators of passion fruit are native species of large solitary bees, which depend both on the nectar, supplied by passion fruit orchard, and others food resources found on natural vegetation. Bees as *Xylocopa*, *Centris*, *Epicharis*, *Eulaema* and *Bombus* have been recorded as visitors and pollinators of passion fruit in Brazil and *Xylocopa* species are the most efficient natural pollinators of the yellow passion fruit (*e.g.* Sazima & Sazima 1989, Camillo 2003). They are known popularly as carpenter bees due the habit of nesting in wood (Hurd 1978, Camillo & Garófalo 1982, Freitas & Oliveira-Filho 2001). The large size of *Xylocopa* bees (*ca* 4.5 cm long) and their behavior during the flower foraging can explain their efficiency in passion fruit pollination (Camillo *et al.* 1986). However, the solitary habit, and reduction of nesting places and feeding resources (pollen and nectar), due to deforestation to increase crop areas, and pesticides usage, have led to low densities of those native pollinators around orchards, one of the largest problems faced for yellow passion fruit production (Camillo 2003).

Three recent reviews about pollination services associated with land-use change and crop pollination (Klein *et al.* 2007, Kremen *et al.* 2007, Ricketts *et al.* 2008) call attention to land management practices conserving habitat conditions and landscape structure in order to maintain sustainable pollination services. In Klein *et al.* (2007), the

passion fruit is pointed out as one of the nine crops with clear evidence that wild pollinators contribute directly to production. Moreover, the passion fruit is included among the three crops in which the hand-pollination is necessary to fruit production in many parts of the world, showing the extreme dependence of the species and the severe lack of wild pollinators.

In this sense, our objective was to estimate species richness and efficiency of native pollinators of yellow passion fruit in Triângulo Mineiro area, in Central Brazil, comparing the production system, discussing the conservation possibilities and the sustainable use of pollination services in the region and in Brazil as a whole.

## **METHODS**

**STUDY AREAS** - The study was conducted in commercial orchards located around Uberlândia and Araguari, in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. The region is inside the Cerrado domain, the Neotropical savanna areas of Central Brazil. We studied five different areas: Água Limpa Farm (19°05'10"S, 48°21'15"W, 0.5-ha of passion fruit cultivated area), Três Irmãos Farm (19°02'22"S, 48°33'05"W, 1-ha), Pissarão Farm (18°42'02"S, 48°05'53"W, 4-ha), Recanto dos Buritis Farm (19°07'56"S, 48°34'10"W, 1-ha) and Campo Alegre Farm (18°59'06"S, 48°14'26"W, 4-ha). The areas were mentioned roughly in decreasing order of disturbance. We used parameters such as distance from natural areas, selective deforestation, surrounding pastureland area, agriculture intensity, and beekeeping in order to classify the study areas. All of the study areas were small farms (less than 50 ha) where the passion fruit was not the only crop or product.

The passion fruit orchard of the Água Limpa Farm was located besides a natural cerrado area in a farmland sparsely used for fruit orchards. There was little selective deforestation and no honeybee keeping. Pastureland occurred more than 100 m away

from the orchard. There were many species of fruit trees around the passion fruit orchard, as West Indian cherry (*Malpighia emarginata*, Malpighiaceae), guava (*Psidium guajava*, Myrtaceae), papaya (*Carica papaya*, Caricaceae), grape (*Vitis* spp, Vitaceae), banana (*Musa sapientum*, Musaceae), avocado (*Persea americana*, Lauraceae), orange (*Citrus* spp, Rutaceae) and mango (*Mangifera* spp, Anacardiaceae), providing almost continuous flower resources.

At the Três Irmãos Farm, pasture with some cerrado trees and the cultivation of okra (*Abelmoschus esculentus*, Malvaceae) and pumpkin (*Cucurbita* spp, Cucurbitaceae) surrounded the passion fruit orchard. A large remnant of natural area was located some 2 km away. No selective deforestation was going on during the study and no beekeeping was observed.

The passion fruit orchard of the Pissarão Farm was 2 km away from a natural area, where we did observe some selective deforestation. Pastureland, coffee and some fruit tree as orange, mango, jaboticaba (*Myrcia cauliflora*, Myrtaceae), cashew (*Anacardium occidentale*, Anacardiaceae), and cajamanga (*Spondias dulcis*, Anacardiaceae) surrounded the orchard. Beekeeping was not observed.

The orchard of Recanto dos Buritis Farm was more than 200 m distant from natural area without selective deforestation. There was mostly pastureland around the orchard and also some fruit trees as West Indian cherry, cashew and mango. Beekeeping activity was going on nearby.

A patch of natural area was more than 2 km away from the passion fruit orchard at the Campo Alegre Farm. We did not observe selective deforestation and beekeeping, although *Apis mellifera* was always present. Mostly pastureland areas surrounded the orchard, but we observed also some trees of orange, avocado, and chayote (*Sechium edule*, Cucurbitaceae).

This study was conducted during the passion fruit flowering periods from 2004 to 2007. There is a marked difference between seasons in the study region: a warmer rainy season from October to March, and a cooler and almost rainless dry season from April to September. The average monthly temperatures ranged from 18°C to 24°C and annual rainfall varied from 1300 to 1700 mm (Rosa *et al.* 1991).

PRODUCTION SYSTEM - The passion fruit orchards in region have used three different production systems: (1) The fence orchard consists of a series of vertical poles linked by one or two horizontal wires, which sustain and conduct the vine growth (Cereda & Ferreira 1998, Silva & Oliveira 2001). (2) The vineyard orchard consists of vertical poles disposed in parallel lines and linked on the top by wires forming a geometrical mesh that support the vines (Cereda & Ferreira 1998, Silva & Oliveira 2001). Vineyard height is at least 1.80 m to allow cleaning and fruit collection; and (3) Old coffee plantations, where coffee plants in latter cycle are used to support yellow passion fruit growth (Silva & Oliveira 2001). The studied areas presented the first two production systems. The fence orchard system allows easy hand pollination procedures, which are less practical in the other production systems. Fence orchard system was used in the Água Limpa, Três Irmãos, Campo Alegre and Pissarão (only in 2004) areas and the vineyard orchard system in the Recanto dos Buritis and Pissarão areas.

The production systems show differences in installation costs and productivity. In Triângulo Mineiro region, fence orchard can produce 12 ton/ha/yr with natural pollination and can reach 45 ton/ha/yr with hand pollination. Vineyard orchards produce from 30 to 40 ton/ha/yr with natural pollination only, but they have installation costs 25% higher (Silva & Oliveira 2001, Silva 2005).

PASSION FRUIT FLORAL BIOLOGY- *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deneger, the yellow passion fruit, has perfect flowers with typical melitophylous characteristics. Flowers are large and attractive, with white sepals and petals and a purple corona. Ovary and stamens are placed on a column (androgynophore) *ca* 1cm above the flower disc. A nectar chamber is formed by the hypantium, well protected by a hairy disk and by an enlargement of the androgynophore (Cervi 1997). The flowers open after midday and close around 2200 h (Sazima & Sazima 1989). If fertilization process does not occur, the flowers will wither and fall. The floral structure and a complex self-incompatibility system result in a strict dependence on pollinator`s services (Akamine & Girolami 1959, Bruckner *et al.* 1995, Rêgo *et al.* 2000, Suassuna *et al.* 2003). As the yellow passion fruit flowering is depending on eleven hour of sunlight, flowering in the study region begins in September-October decreasing in April-May (Silva 2005).

FLORAL VISITORS - The orchards were visited weekly during the yellow passion fruit flowering to observe floral visitors. Observations were carried between 1200 h and 1700 h, walking along orchards and recording the visitors on open flowers totalizing 183 h. Some individuals of floral visitors were collected and sacrificed on ethyl acetate for identification, but most often, it was possible to identify visitors directly in the field. We considered as pollinators bees large enough to touch anthers and stigmas during most of their visits and nectar and pollen thieves the ones that failed to touch these structures or caused damage to the flower.

In order to help identification and to analyze the behavior flowers visitors, we used binoculars, photographs and video cameras. We used bee classification proposed by Silveira *et al.* (2002). Since the sample effort could affect our data, we used the Spearman coefficient to evaluate the correlation between the number of sampled hours and the species richness among areas (Zar 1999). The species richness estimators and

rarefaction curves were used also as tools to compare our data. The analyses were carried out using the EstimateS algorithm (Colwell 2005) with each observation section of one hour as a sample unity. Voucher specimens of all species were incorporated to the Entomological Collection of the Federal University of Uberlândia.

**POLLINATION TESTS** - The passion fruit on vineyard and fence orchards were used for pollination tests. These tests were done in different day in each study area, and we considered each day of pollination treatment as a sample. Hand cross pollinations were done after the first hour of anthesis, using pollen from different individuals. Flowers monitored for natural pollination were marked on the pedicel with colored ribbons. Fruit set from each treatment was verified 15 days after pollination. Some pistils were collected 24 h after hand cross pollination and the next day after anthesis for flowers exposed to natural pollination, in order to observe pollen tube growth under fluorescence microscopy (Martin 1959). Due to bulk pistils and ovaries, pollen tube growth was observed along longitudinal sections of the styles and on excised ovules mounted in slides. The percentage of pollen tube penetrated ovules per ovary was estimated for each treatment by counting the first thirty ovules in each slide.

The  $\chi^2$  test was applied to verify the differences between hand cross-pollination and open pollination treatments for each area. We also compared fruit set success among areas and between fence and vineyard production systems in Pissarão orchards (Zar 1999). Due the samples size, only in Água Limpa, Campo Alegre and Pissarão areas data of pollination were treatments compared by Anova (Zar 1999). The Spearman coefficient was used to evaluate the correlation between bee or pollinator species richness and either natural fruit set rates or reproductive efficacy (natural pollination fruit set/cross pollination fruit set, *sensu* Ruiz and Arroyo 1978) among

areas. The Mann-Whitney test was applied to verify differences in pollen-tube-penetrated ovules between treatments (Zar 1999).

## RESULTS

We observed 3,485 bee visits belonging to 27 species visiting yellow passion fruit orchards. They were classified as pollinators (17 species) or thieves (10 species) according to the size and behavior on the flowers (Fig. 1). Since we tried to observe bees in similar conditions of weather and flowering intensity, the observation sections varied among areas (Table 1).

The effective pollinators were bees larger than 1.2 cm of body length and included species of *Xylocopa* spp, *Centris* (*Ptilotopus*) spp, *Eulaema* (*Apeulaema*) *nigrita* and some individuals of *Bombus* (*Fervidobombus*) *pauloensis* (Fig. 1 A-E). They fit perfectly the yellow passion fruit flowers, touching anthers and stigma in most of their visits. We observed other large bees such as *Acanthopus excellens*, *Centris* (*Trachina*) *longimana*, *C. (Xanthemis)* *lutea*, *Epicharis* spp and *Oxaea* spp that did not fit exactly the flower structure (Fig. 1 G-L) but that could also work as pollinator. The smaller bee species (<1.2 cm in length) were observed collecting pollen and nectar, but they rarely touched the stigma and were considered thieves (Fig. 1 M-O). Among the small bee visitors observed, *Apis mellifera* was the most frequent and a major pollen thief, reducing greatly pollen availability for the pollination process (Fig. 1 M). *Trigona* spp was considered the main nectar thief (Fig. 1 N). Since we could not initially identify the different species of stingless bees in the field, we pulled together *Frieseomelitta varia* (Lepeletier, 1836), *Tetragonisca angustula* Latreille, 1836, *Trigona hyalinata* (Lepeletier, 1836), *T. spinipes* (Fabricius, 1793), *Trigona* sp., *Paratrigona lineata* (Lepeletier, 1836), *Scaptotrigona* sp. in a single group Meliponina (Table 1).

Besides bees, hummingbirds, butterflies, and wasps were also observed visiting yellow passion fruit flowers. The butterflies searched for nectar and wasps hunted for preys on flowers but both did not contribute to pollination process. The hummingbirds *Chlorostilbon lucidus* (Shaw, 1812), *Eupetomena macroura* (Gmelin, 1788), and *Phaetornis pretrei* (Lesson & Dellatre 1839) (Trochilidae) searched for nectar and effectively carried pollen in their beaks, probably acting eventually as pollinators. But their frequency was much smaller and their contribution to fruit set probably less important than the effective bee pollinators.

The number of bee species observed visiting the yellow passion fruit flowers was variable among area. Including *Melipona* species, the largest species richness was registered in Água Limpa farm (n=23 species), and the smallest in Recanto dos Buritis farm (n=7 species). If we consider only the effective bee pollinators, the largest richness was registered in Água Limpa farm (n=16 species), and the other areas varied between four to eleven species. The sampling effort presented no significant correlation with the total richness of bees species on each area ( $r=0.5852$ ,  $P=0.2224$ ), and neither with the effective bee pollinators richness ( $r=0.4706$ ,  $P=0.3462$ ) indicating that our sample effort had no direct effect on the species richness observed in each area.

The pollinators' relative frequency on yellow passion fruit orchards varied from 6.68% to 82.76% ( $34.43\% \pm 31.24\%$ , mean  $\pm$  standard error) among areas and the highest frequency was registered on Três Irmãos, Água Limpa and Pissarão farms (Table 1). The thieves' relative frequency was between 17.24% and 93.32% ( $65.57\% \pm 31.24\%$ , mean  $\pm$  standard error) and we observed the largest thieves' frequency on Campo Alegre, Recanto dos Buritis and Pissarão farms (Table 1). Among pollinators *Xylocopa* (*Megaxylocopa*) *frontalis*, *X. (Neoxylocopa) suspecta* and *Centris (Ptilotopus) scopipes* were the most frequent, whereas *A. mellifera* and *Meliponina* were the most frequent thieves.

The rarefaction curves of species richness (Fig. 2) did not reach a clear asymptote for any of the areas. The Recanto dos Buritis farm did not appear in the figure because of the low sampled period. The data collection from this area was discontinued due to almost no flowering. The estimated species richness (Table 2) was highest for the Água Limpa farm (between 25 and 31 species of bees, and 17 to 20 pollinator species) and the smallest for the Campo Alegre farm (between 13 and 16 bee species, and 9 to 12 pollinator species). The other areas Três Irmãos and Pissarão farms presented intermediate richness estimates. When pooling together data for all areas, the rarefaction curves and richness estimators coincided with the ones obtained for the Água Limpa orchard.

There were significant differences between the pollination treatments with much larger fruit production obtained by hand cross-pollination in all orchards (Table 3). When areas were compared, there was no significant difference on natural fruit set between Água Limpa, Campo Alegre and Pissarão farm areas (ANOVA test  $F=0.172$ ,  $df=2$ ,  $P=0.843$ ). When we analyzed the fruit set rate for all fence orchards areas, we did not observe significant differences either for natural pollination ( $\chi^2=7.558$ ,  $df=3$ ,  $P=0.0561$ ) or for hand cross-pollination ( $\chi^2=5.859$ ,  $df=3$ ,  $P=0.1187$ ). But a pairwise analysis showed significant differences between the extreme values found for natural pollination at Pissarão and Campo Alegre areas ( $\chi^2=5.989$ ,  $df=1$ ,  $P=0.0144$ ). Other pairwise analyses did not show significant differences ( $\chi^2$ ,  $P>0.005$ ). As for the vineyard orchards, there were significant differences in fruit set from natural pollination ( $\chi^2=5.984$ ,  $df=1$ ,  $P=0.0144$ ), but there was no significant difference between hand cross-pollination treatment ( $\chi^2=2.491$ ,  $df=1$ ,  $P=0.1145$ ). These differences in natural fruit set may be explained by the competition and pollen thieving by honeybees kept in a hive close to the orchard of the Recanto dos Buritis farm. The hand cross pollination results suggested no differences among orchards potential productivity due to management.

The turnover of flowers into fruits did not show significant difference between the vineyard and fence orchards production systems ( $\chi^2=1.017$ ,  $df=1$ ,  $P=0.3131$ ) in Pissarão farm, where both production systems were used side-by-side. The areas Pissarão, Água Limpa and Três Irmãos showed natural fruit set higher than 20%, while in Campo Alegre and Recanto dos Buritis farms we registered the smallest rates (15.6% and 11.1%, respectively). In general, our mean natural pollination results were larger than those found for other passion fruit cultivation areas in Brazil (Table 4).

Pollen tube growth and ovule penetration analysis showed much higher number of penetrated ovules ( $U=118.500$ ,  $P<<0.001$ ) in hand cross-pollinated pistils than in open pollinated pistils. In pistils that received hand cross-pollination treatment,  $68.8\% \pm 1.68$  ( $n = 17$  flowers) ovules were penetrated by pollen tubes (Fig. 3, A-E), while only  $27.8\% \pm 3.24$  ( $n = 58$  flowers) ovules were penetrated in pistils exposed to natural pollination (Fig. 3).

The general bee species richness visiting yellow passion fruit flowers did not show significant correlation with the natural fruit set observed in the orchards ( $r=0.6983$ ,  $P=0.1228$ ), but presented a significant correlation with reproductive efficacy ( $r=0.8197$ ,  $P=0.0458$ ). There was also a significant correlation between effective bee pollinators richness and both natural fruit set ( $r=0.8117$ ,  $P=0.0499$ ) and the reproductive efficacy ( $r=0.8986$ ,  $P=0.0149$ ). Other analyses as number of pollinators per hour and fruit set or reproductive efficacy did not present any significant correlation ( $r=0.5218$ ,  $P=0.2883$  and  $r=0.6667$ ,  $P=0.1481$ , respectively). In addition, the pollinators frequency and fruit set or reproductive efficacy there were no significant values ( $r=0.4058$ ,  $P=0.4247$  and  $r=0.4928$ ,  $P=0.3206$ , respectively).

## DISCUSSION

The richness of bee species visiting yellow passion fruit flowers observed in the present study was much higher than those found at other places in Brazil. Six species of bee visitors were registered on passion fruit flowers in Campinas, SP (Sazima & Sazima 1989); one to seven different bee species in Holambra, SP (Camillo 2003) and in Campos dos Goytacazes, RJ (Benevides 2006), all of them on Southeastern Brazil. In a previous study in Araguari, MG, thirteen bee species visited yellow passion fruit flowers (Leone 1990). However, only six species, between pollinators and thieves were common with the species recorded in our study. This results suggest bee diversity around these central Brazil orchard are higher than in other parts of the country but is still a subsample of the possible bee fauna associated with passion fruit pollination. Species richer communities provided more stable pollination service to some crops as watermelon (Kremen 2008) and coffee (Klein *et al.* 2003, Steffan-Dewenter *et al.* 2006). These communities have wider physiological and behavioral spectra, with bees which are able to fly and pollinate flowers under an ample array of environmental circumstances and thus to provide greater consistency and pollination reliability than lower-diversity communities (Klein *et al.* 2003).

Among large-bees classified as pollinators, some species stood out due their larger size and behavior on flowers, besides their frequency of visits to the yellow passion fruit flowers. *Xylocopa* spp and *Centris (Ptilotopus)* spp were probably the most effective pollinators in the region and their occurrence in the study areas probably explain the higher fruit set observed here when compared with other areas of Brazil. The abundance of effective pollinators has been proved to increase fruit set in other passion fruit orchard (Camillo 2003) and the lack of these pollinator has been pointed as one of the mainly restriction to passion fruit productivity in many areas in Brazil (Camillo 2003, Freitas & Oliveira-Filho 2001). Passion fruit is probably one of the few

crops where optimum management and breeding do not result in productivity gains unless satisfactory cross pollination is provided (Silva et al. 1999, Bruckner & Silva 2001).

Passion fruit production has been also negatively affected by bee visiting. *Apis mellifera* and *Melipona* bees registered here have been considered pollen and nectar thieves in other studies (e.g. Camillo 2003, Sazima & Sazima 1989, Leone 1990, Hoffmann *et al.* 2000) and presented a negative impact on the yellow passion fruit orchards because of the intense pollen collection. Although africanized honey bee, *A. mellifera*, has been considered an important pollinator for some crops (e.g. Delaplane & Mayer 2000), this species was considered poor pollinator and have a damaging effect on the yellow passion fruit crop (Camillo 2003). Actually, these bees have been viewed as plagues by passion fruit producers and in some parts of Brazil, orchards have been sprayed in order to reduce infestation, with consequent reduction of effective pollinators and increasing dependence on hand pollinations (Bruckner & Silva 2001, Camillo 2003). As the majority of thieves in passion fruit flower were bees of social habits and with large colonies, it may explain their high visiting frequency in the study areas. On the other hand, most species of pollinators were solitary bees with relatively small populations as *Xylocopa* spp, and *Centris (Ptilotopus)* spp., for example. Surveys in Brazil suggest large bees may represent less than 3% of the bees commonly observed visiting flowers (Andena *et al.* 2005).

There was variation in bee species richness among the studied areas that seemed to be associated to the conservation of natural environment. Other studies have correlated pollinator's richness in agroecosystems and pollination services availability with the proximity of natural areas and environmental conservation (e.g. Klein *et al.* 2002, Kremen *et al.* 2004, Ricketts 2004, Chacoff & Aizen 2006, Greenleaf & Kremen 2006, Potts *et al.* 2006, Ricketts *et al.* 2008). However, the studied crops were not as

highly dependent of pollinators for fruit production as the yellow passion fruit. The conservation status of the areas surrounding the orchards were not qualified in details in the present study, but the differences of species richness among areas and a preliminary assessment of the environmental quality suggest that conservation of the natural environments to nesting and survival of autochthonous bees may explain the differences of bee pollinator species richness.

Comparisons between natural and hand cross-pollination showed consistently higher fruit set from hand pollination treatments. Similar results were obtained in most studies with passion fruit in Brazil, but natural fruit set in the study areas were higher than the obtained in other studies. Higher fruit set seems to be the result of a higher efficiency in ovules penetration by pollen tubes after hand cross-pollinations. Since the species is self-incompatible and self pollen tube growth is arrested in the style (Rêgo *et al.* 2000), reduced ovule penetration after natural pollination may be the result of a smaller amount of pollen deposited on the stigma but also of the incompatible pollen deposition and mixed mating.

In Triângulo Mineiro region the fructification rate of the yellow passion fruit should be at least 20% so that crop is considered economically viable (J. R. Silva, personal communication). Our results of natural fructification for three of studied areas indicated good economical viability, although the production can be improved with hand pollination procedure. Even though, the fructification success for natural pollination found in this study was greater than values found for other areas in Brazil. In places where the destruction of natural areas surrounding passion fruit orchards seemed to be more severe, as in São Paulo State, data indicated the inexistence of bee pollinators in enough numbers to reach the minimum levels of pollination, which obliges the practice of hand cross-pollination (J. R. Silva, personal communication).

A similar rate of fruit development was observed in both production system, vineyard and fence orchard, suggesting that the increase of productivity in vineyard orchard referred in literature (Silva & Oliveira 2001) is not directly related with differences in pollination efficiency. An important detail is that vineyard orchard production system relies on pollination services, and depends on bees to fruit production. Actually, our results were of flowers to fruits turnover, since fruit development was not accompanied until maturation and harvest. Bos *et al.* (2007) observed on average 17% of passion fruit abortion between initial fruit set and fruit set at harvest, but no difference between abortion of hand cross-pollinated vs. open pollinated pistils. Further studies showed only 9.4% of fruit abortion at harvest for the Triângulo Mineiro region.

The Pissarão, Água Limpa and Três Irmãos farms, apparently less disturbed, presented larger pollinator species richness, as pointed on rarefaction curves, and larger fructification rate. This correlation between pollinators richness and fruit set has been registered for other crops as coffee (Klein *et al.* 2003, DeMarco & Coelho 2004, Ricketts 2004), watermelon (Kremen *et al.* 2002, Kremen *et al.* 2004), grapefruit (Chacoff & Aizen 2006) and sunflower (Greenleaf & Kremen 2006). Note that there was no direct correlation between the sheer number of pollinators and fruit set estimates, but with the species richness of pollinators. Since pollen quality is a function of the amount of cross pollen, it is possible that pollen heterogeneity and the amount of cross pollen arriving in the stigma may be improved by the different foraging and visiting behavior of a greater array of large bee pollinators. These results restate the importance of maintain natural areas around the orchards in order to sustain species rich bee communities for pollination services (Klein *et al.* 2002, Kremen *et al.* 2004, Ricketts 2004, Chacoff & Aizen 2006, Greenleaf & Kremen 2006). Behavioral interactions among different species of pollinators would also increase the efficiency

pollination (Greenleaf & Kremen 2006), emphasizing the importance of the community's composition and conservation of natural environments. Data for coffee crop showed that remaining areas of natural vegetation could increase in *ca* 14% the productivity of harvest (DeMarco & Coelho 2004). Not only pollinator densities but also pollinator diversity was proved to be important for ensuring high yields, but the mechanisms of biodiversity-functioning relationships need further exploration (Klein *et al.* 2007, Kremen *et al.* 2007).

At least 67% of Brazilian savannah biome had been converted to intensive human use by the early 2000s, with 80% of disturbance estimated area (Myers *et al.* 2000). The areas of Brazilian savannah natural vegetation represent only *ca* 18% of Uberlândia municipality, where more than 40% of the area is occupied by pastureland, usually in a slash-and-burn process (Brito & Prudente 2005). In Triângulo Mineiro region 50% to 92% of Cerrado area is under heavy human pressure (Cavalcante & Joly 2002). It is possible to infer that the intensive use of soil in soybean and other short cycle, cash crop plantations, besides reducing the native vegetation extension, should have an even greater impact on nest substrates for the large bee species which pollinate yellow passion fruit. However, the bee species richness in the Triângulo Mineiro region seems to be still enough to maintain yellow passion fruit production at economically satisfactory levels. Although fruit set rates after hand cross-pollination is much higher, hand pollination has also a higher cost for the producer and tend to become more difficult to perform due the lack of trained workforce in an increasingly urbanized region (Klink and Moreira 2002). Natural pollination can be optimized by the environmental enrichment, as the supply of nest substrates and food resources for pollinators, and kept as an important alternative for sustainable cultivation of passion fruit. In that way, the maintenance of natural areas, even if fragmented, associated to the management and conservation of bees pollinators are good practices, which should be

stimulated in order to get economically viable culture and higher productivity of yellow passion fruit. This crop may be viewed as a flag agroecosystem, where productivity depends on natural landscape and where the good practices applied would favor both production and conservation.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

We thanks to Fernando A. Silveira, Maria Cristina Gaglianone, Fernanda H. Nogueira Ferreira Estefane L. Siqueira, and Alice M.F.G. Vilhena who identified the bee species. Alexandre G. Franchin for hummingbirds' identification. Felipe W. Amorim, Clesnan Mendes-Rodrigues, Diana Salles Sampaio and Everton Tizo Pedroso for valuable comments on the manuscript. Financial support came from PROBIO/Pollinator/Brazil Environment Ministry (Grant 0112-00/2005), and FAPEMIG (Grant CRA-2037/05).

## LITERATURE CITED

- AGRIANUAL ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2008. FNP Consultoria e Comércio. São Paulo.
- AKAMINE, E. K., AND G. GIROLAMI. 1959. Pollination and fruit set in the yellow passion fruit. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin.
- ALLEN-WARDELL, G., P. BERNHARDT, R. BITNER, A. BURQUEZ, S. BUCHMANN, J. CANE, P. A. COX, V. DALTON, P. FEINSINGER, M. INGRAM, D. INOUE, C. E. JONES, K. KENNEDY, P. KEVAN, H. KOPOWITZ, R. MEDELLIN, S. MEDELLIN-MORALES, G. P. NABHAN, B. PAVLIK, V. TEPEDINO, P. TORCHIO, AND S. WALKER. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conserv. Biol.* 12: 8-17.
- ANDENA, S. R., L. R. BEGO, AND M. R. MECHI. 2005. A comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) de uma área de cerrado (Corumbataí, SP) e suas visitas às flores. *Rev. Bras. Zooc.* 7: 55-91.
- BENEVIDES, C. R. 2006. Biologia Floral e Polinização de Passifloraceae Nativas e Cultivadas na Região Norte Fluminense-RJ. Msc Dissertation. UENF, Campos dos Goytacazes, Brazil.
- BIESMEIJER, J.C., S. P. M. ROBERTS, M. REEMER, M. OHLEMÜLLER, T. PEETERS, A. P. SCHAFFERS, S. G. POOTS, R. KLEUKERS, C. D. THOMAS, J. SETTELE, AND W. E. KUNIN. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354.
- BOS, M. M., D. VEDDELER, A. K. BOGDANSKI, A. M. KLEIN, T. TSCHARNTKE, I. STEFFAN-DEWENTER, AND J. M. TYLIANAKIS. 2007. Caveats to quantifying ecosystem services: fruit abortion blurs benefits to crop pollination. *Ecol. Appl.* 17: 1841-1849.
- BRITO, J. S., AND T. D. PRUDENTE. 2005. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens ccd/cbers 2. *Cam. Geogr.* 13: 144-153.
- BRUCKNER, C. H., AND M. M. SILVA. 2001. Florescimento e frutificação. In C. H. Bruckner, and M. C. Picanço (Eds.). Maracujá tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado, pp. 52-83. Editora Cinco Continentes, Porto Alegre, Brazil.
- BRUCKNER, C. H., V. W. D. CASALI, C. F. MORAES, A. J. REGAZZI, AND E. A. M. SILVA. 1995. Self-incompatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Hort.* 370: 47-57.
- CAMILLO, E. 2003. Polinização do Maracujá. Editora Holos, Ribeirão Preto.
- CAMILLO, E., AND C. A. GARÓFALO. 1982. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) and *Xylocopa grisea* (Lepeletier) in Southern Brazil. I - Nest construction and biological cycle. *Rev. Bras. Biol.* 42: 571-582.
- CAMILLO, E., C. A. GARÓFALO, AND G. MUCCILLO. 1986. On the bionomics of *Xylocopa suspecta* (Moure) in Southern Brazil: nest construction and biological cycle (Hymenoptera, Anthophoridae). *Rev. Bras. Biol.* 46: 383-393.
- CAVALCANTE, R., AND C. JOLY. 2002. The conservation of cerrados In: P. S. Oliveira, and R. J. Marquis (Eds.). The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna Pp. 351-367. Columbia University Press, New York.

- CEREDA, E., AND G. FERREIRA. 1998. Sistemas de condução e manejo da cultura do maracujazeiro. In C. Ruggiero (Ed.). Maracujá: do plantio à colheita. pp. 93-103. Funep, Jaboticabal, SP.
- CERVI, A.C. 1997. Passifloraceae do Brasil. Estudo do gênero *Passiflora* L., Subgênero *Passiflora*. Fontqueria XLV, Madrid.
- CHACOFF, N. P., AND M. A. AIZEN. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. J. Appl. Ecol. 43: 18-27.
- COLWELL, R. K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- DELAPLANE, K. S., AND D. F. MAYER. 2000. Crop pollination by bees. New York, NY: CABI Publishing.
- DEMARCO, P., AND F. M. COELHO. 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. Biodiversity Conserv. 13: 1245-1255.
- FREITAS, B. M., AND J. H. OLIVEIRA-FILHO. 2001. Criação racional de mamangava para polinização em áreas agrícolas. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, Brazil.
- FREITAS, B.M., AND J.H. OLIVEIRA-FILHO. 2003. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). Ciênc. Rur. 33:1135-1139.
- GREENLEAF, S. S., AND C. KREMEN. 2006. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103: 13890-13895
- HOFFMANN, M., T. N. S. PEREIRA, M. B. MERCADANTE, AND A. R. GOMES. 2000. Polinização de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* (Passiflorales, Passifloraceae) por abelhas (Hymenoptera, Anthophoridae) em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Iheringia (série zoologia) 29: 149-152.
- HURD, P.J. 1978. An annotated catalog of the carpenter bees (Genus *Xylocopa*) of the Western Hemisphere (Hymenoptera: Anthophoridae). Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- KAVATI, R. 1998. Florescimento e frutificação do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). In C. Ruggiero (Ed.). Maracujá do plantio à colheita, pp. 107-129. Funep, Jaboticabal, Brazil.
- KEARNS, C. A., D. W. INOUE, AND N. M. WASER. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. Annu. Rev. Ecol. Syst. 29: 83-112.
- KLEIN, A.M., I. STEFFAN-DEWENTER, D. BUCHORI, AND T. TSCHARNTKE. 2002. Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower-visiting and trap-nesting bees and wasps. Conserv. Biol. 16: 1003-1014.
- KLEIN, A.M., I. STEFFAN-DEWENTER, AND T. TSCHARNTKE. T. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. P. Roy. Soc. B-Biol. Sci. 270: 955-961.
- KLEIN, A. M., B. E. VAISSIERE, , J. H. CANE, I. STEFFAN-DEWENTER, S. A. CUNNINGHAM, C. KREMEN, AND T. TSCHARNTKE. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. . P. Roy. Soc. B-Biol. Sci. 274: 303-313.

- KLINK, C.A. & A.G. MOREIRA. 2002. Past and current human occupation, and land use. In P.S. Oliveira & R.J. Marquis (Eds.) The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. pp. 69-88. Columbia University Press, Washington.
- KREMEN, C. 2008. Crop pollination services from wild bees. In Bee pollination in agricultural ecosystems. R. R. James, and T.Pitts-Singer (Eds) pp. 10-26. Oxford University Press, Oxford, UK.
- KREMEN, C., N. M. WILLIAMS, AND R. W. THORP. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99: 16812-19816.
- KREMEN, C., N. M. WILLIAMS, R. L. BUGG, J. P. FAY, AND R. W. THORP. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. Ecol. Lett. 7: 1109-1119.
- KREMEN, C., N. M. WILLIAMS, M. A. AIZEN, B. GEMMIL-HERREN, G. LEBUHN, R. MINCKLEY, L. PACKER, S. G. POTTS, T. ROULSTON, I. STEFFAN-DEWENTER, P. VÁZQUEZ, R. WINFREE, L. ADAMS, E. E. CRONE, S. S. GREENLEAF, T. H. KEIT, A. M. KLEIN, J. REGETZ, AND T. H. RICKETTS. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. Ecol. Lett. 10: 299-314.
- LEONE, N. R. F. M. 1990. Polinização do maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) em Araguari, MG. MSc Dissertation, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MARTIN, F. M. 1959. Staining and observing pollen tubes by means of fluorescence. Stain Technol. 34: 436-437.
- MYERS, N., R. A. MITTERMEIER, C. G. MITTERMEIER, G. A. B. DA FONSECA, AND J. KENT. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853-858.
- POTTS, S.G., T. PETANIDOU, S. ROBERTS, C. O'TOOLE, A. HULBERT, AND P. WILLMER. 2006. Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex Mediterranean landscape. Biol. Conserv., 129: 519-529.
- RÊGO, M. M., E. R. RÊGO, C. H. BRUCKNER, E. A. M. SILVA, F. L. FINGER, AND K. J. C. PEREIRA. 2000. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses. Theor. Appl. Genet. 101: 685-689.
- RICKETTS, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. Conserv. Biol. 18: 1262-1271.
- RICKETTS, T.H., J. REGETZ, I. STEFFAN-DEWENTER, S. A. CUNNINGHAM, C. KREMEN, A. BOGDANSKI, B. GEMMIL-HERREN, S. S. GREENLEAF, A. M. KLEIN, M. M. MAYFIELD, L. A. MORANDIN, A. OCHIENG, AND B. F. VIANA. 2008. Landscape effects on crop pollinations services: are there general patterns? Ecol. Lett. 11: 499-515.
- ROSA, R., S. C. LIMA, AND W. L. ASSUNÇÃO, 1991. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). Soc. Nat., 3: 91-108.
- ROUBIK, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. Nature 417: 708.
- RUGGIERO, C. 1973. Estudos sobre floração e polinização do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). Jaboticabal. FCAV. PhD Dissertation.

- RUIZ, T., AND M. T. K. ARROYO. 1978. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica* 10: 221–230
- SAZIMA, I. AND M. SAZIMA. 1989. Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e consequências para a polinização do maracujá (Passifloraceae). *Rev. Bras. Entomol.* 33: 109-118.
- SILVA, J. R. 2005. A cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) na Região do Triângulo Mineiro. Aspectos práticos. Relatório técnico.
- SILVA, J.R., AND H.J. OLIVEIRA. 2001. Implantação da cultura, manejo e tratos culturais. In C. H. Bruckner, and M. C. Picanço (Eds.). Maracujá tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado, pp. 139-161. Editora Cinco Continentes, Porto Alegre, Brazil.
- SILVA, M.M., C.H. BRUCKNER, M. PICANÇO, AND A.J. MOLINA-RUGAMA. 1999. Número floral, clima, densidad poblacional de *Xylocopa* spp. (Hymenoptera: Anthophoridae) y polinización del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Rev. biol. Trop. (San Jose)* 47: 711-718.
- SILVEIRA, F.A., G.A.R. MELO, AND E.A.B. ALMEIDA. 2002. Abelhas Brasileiras: Sistemática e Identificação. F.A. Silveira, Belo Horizonte, Brazil.
- SOUZA, M. M., T. N. S. PEREIRA, A. P. VIANA, M. G. PEREIRA, A. T. AMARAL JÚNIOR, AND H. C. MADUREIRA. 2004. Flower receptivity and fruit characteristics associated to time of pollination in the yellow passion fruit *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener (Passifloraceae). *Sci. Hortic.* 101: 373-385.
- STEFFAN-DEWENTER, I., A. M. KLEIN, V. GAEBELE, T. ALFERT, AND T. TSCHARNTKE. 2006. Bee diversity and plant-pollinator interactions in fragmented landscapes. In N. M. Waser and J. Ollerton (Eds.) Specialization and generalization in plant-pollinator interactions. pp. 387-410. Chicago University Press. Chicago, USA.
- SUASSUNA, T. D. F., C. H. BRUKNER, C. R. CARVALHO, AND A. BOREM. 2003. Self-incompatibility in passion fruit: evidence of gametophytic-sporophytic control. *Theor. Appl. Genet.* 106: 298-302.
- WESTERKAMP, C., AND G. GOTTSBERGER. 2000. Diversity pays in crop pollination. *Crop Sci.* 40: 1209-1222.
- ZAR, J. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

## Tables

**Table 1** – *Floral visitors on Passiflora edulis f. flavicarpa orchards in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. AL: Água Limpa farm, TI: Três Irmãos farm, PF: Pissarão farm, RB: Recanto dos Buritis farm, and CA: Campo Alegre farm.*

|                                                                 | Study areas  |              |              |              |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                                 | AL 2005-07   | TI 2004-05   | PF 2005-07   | RB 2004-05   | CA 2006-07   |
| Observed bees                                                   | 1938         | 262          | 477          | 74           | 734          |
| Number of species                                               | 21           | 14           | 14           | 7            | 12           |
| Number of pollinators                                           | 16           | 10           | 11           | 4            | 9            |
| Observation time (hour)                                         | 68h          | 36h          | 27h          | 12h          | 40h          |
| <b>Pollinators</b>                                              | <b>48.45</b> | <b>82.76</b> | <b>18.03</b> | <b>16.22</b> | <b>6.68</b>  |
| 1 <i>Acanthopus excellens</i> Schrottky, 1902                   | 0.77         | 0.38         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 2 <i>Bombus (Fervidobombus) pauloensis</i> Friese, 1913         | 2.58         | 11.49        | 2.94         | 0.00         | 0.14         |
| 3 <i>Centris (Centris) flavifrons</i> (Fabricius, 1775)         | 0.10         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 4 <i>Centris (Ptilotopus) denudans</i> Lepeletier, 1841         | 0.62         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 5 <i>Centris (Ptilotopus) scopipes</i> Friese, 1899             | 7.38         | 3.07         | 0.21         | 2.70         | 1.63         |
| 6 <i>Centris (Ptilotopus) sponsa</i> Smith, 1854                | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.14         |
| 7 <i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804           | 1.29         | 1.92         | 1.26         | 6.76         | 0.14         |
| 8 <i>Centris (Xanthemis) lutea</i> Friese, 1899                 | 0.36         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.14         |
| 9 <i>Epicharis (Epicharana) flava</i> (Friese, 1900)            | 0.52         | 0.38         | 1.05         | 0.00         | 0.14         |
| 10 <i>Epicharis (Epicharis) bicolor</i> Smith, 1874             | 0.67         | 0.00         | 0.21         | 0.00         | 0.00         |
| 11 <i>Eulaema (Apeulaema) nigrita</i> Lepeletier, 1841          | 0.26         | 2.30         | 0.21         | 0.00         | 0.00         |
| 12 <i>Oxaea austera</i> Gertäcker, 1867                         | 0.26         | 0.00         | 2.10         | 0.00         | 0.00         |
| 13 <i>Oxaea flavescens</i> Klug, 1807                           | 0.05         | 0.77         | 0.21         | 0.00         | 0.00         |
| 14 <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | 17.13        | 32.57        | 3.56         | 5.41         | 0.95         |
| 15 <i>Xylocopa (Neoxylocopa) grisea</i> Lepeletier, 1841        | 2.22         | 0.38         | 0.21         | 0.00         | 0.00         |
| 16 <i>Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima</i> Maidl, 1912       | 0.26         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.14         |
| 17 <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | 13.98        | 29.50        | 6.08         | 1.35         | 3.27         |
| <b>Thieves</b>                                                  | <b>51.55</b> | <b>17.24</b> | <b>81.97</b> | <b>83.78</b> | <b>93.32</b> |
| 18 <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                         | 33.75        | 14.94        | 32.91        | 79.73        | 48.64        |
| 19 <i>Augochlora</i> sp.                                        | 0.05         | 0.00         | 0.21         | 0.00         | 0.00         |
| 20 <i>Augochloropsis</i> sp.                                    | 0.00         | 0.38         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 21 <i>Meliponina</i> <sup>a</sup>                               | 17.75        | 1.91         | 48.85        | 4.05         | 44.69        |

<sup>a</sup> Including species: *Frieseomelitta varia*, *Tetragonisca angustula*, *Trigona hyalinata*, *T. spinipes*, *Trigona* sp., *Paratrigona lineata*, and *Scaptotrigona* sp.

*Table 2 – Species richness estimates for flower visitors and pollinators of Passiflora edulis f. flavicarpa on orchards in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil.*

| Study areas       | Species richness estimates |                        |                        |                        | Observed richness |
|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
|                   | ICE (mean $\pm$ SD)        | Chao 2 (mean $\pm$ SD) | Jack 1 (mean $\pm$ SD) | Jack 2 (mean $\pm$ SD) | visitors          |
| Água Limpa farm   | 25.18 $\pm$ 0.01           | 30.84 $\pm$ 10.15      | 25.92 $\pm$ 2.13       | 30.76                  | 21                |
| Campo Alegre farm | 15.64 $\pm$ 0.02           | 12.97 $\pm$ 1.77       | 14.9 $\pm$ 1.62        | 15.9                   | 12                |
| Pissarão farm     | 17.96 $\pm$ 0.01           | 14.41 $\pm$ 2.11       | 16.75 $\pm$ 1.68       | 17.8                   | 14                |
| Três Irmãos farm  | 17.58                      | 16.81 $\pm$ 3.94       | 17.75 $\pm$ 1.68       | 20.43                  | 14                |
| Total             | 27.7 $\pm$ 0.01            | 28.96 $\pm$ 6.0        | 28.96 $\pm$ 2.18       | 32.9                   | 27                |

| Study areas       | Pollinator richness estimates |                        |                        |                        | Observed richness |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
|                   | ICE (mean $\pm$ SD)           | Chao 2 (mean $\pm$ SD) | Jack 1 (mean $\pm$ SD) | Jack 2 (mean $\pm$ SD) | pollinators       |
| Água Limpa farm   | 16.84 $\pm$ 0                 | 16.98 $\pm$ 2.26       | 17.97 $\pm$ 1.38       | 19.9                   | 16                |
| Campo Alegre farm | 10.73 $\pm$ 0.01              | 9.48 $\pm$ 1.26        | 10.93 $\pm$ 1.34       | 11.9                   | 9                 |
| Pissarão farm     | 13.19 $\pm$ 0                 | 10.7 $\pm$ 1.35        | 12.81 $\pm$ 1.51       | 12.99 $\pm$ 0          | 11                |
| Três Irmãos farm  | 12.54 $\pm$ 0                 | 11.41 $\pm$ 2.45       | 12.81 $\pm$ 1.51       | 14.62 $\pm$ 0          | 10                |
| Total             | 17.78 $\pm$ 0                 | 17.99 $\pm$ 2.28       | 18.98 $\pm$ 1.4        | 20.95                  | 17                |

*Table 3 – Fruit production after pollination treatments in Passiflora edulis f. flavicarpa in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. In each line, different letters indicated significant differences ( $\chi^2$ ,  $P < 0.05$ ).*

| Study area               | Production system | Treatment (%)          |                     |
|--------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
|                          |                   | Hand cross pollination | Natural pollination |
| Água Limpa farm          | Fence orchard     | 66.1 (n=213) a         | 22.0 (n=389) b      |
| Campo Alegre farm        | Fence orchard     | 64.4 (n=119) a         | 15.6 (n=101) b      |
| Pissarão farm            | Fence orchard     | 58.2 (n=32) a          | 33.8 (n=35) b       |
| Três Irmãos farm         | Fence orchard     | 85.0 (n=54) a          | 21.3 (n=51) b       |
| Pissarão farm            | Vineyard orchard  | 88.6 (n=47) a          | 26.0 (n=50) b       |
| Recanto dos Buritis farm | Vineyard orchard  | 68.8 (n=16) a          | 11.1 (n=18) b       |

*Table 4 –Fruit production of Passiflora edulis f. flavicarpa in other studied areas in Brazil.*

| Productivity               |                        | Study area                         | Source                          |
|----------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Natural pollination        | Hand cross pollination |                                    |                                 |
| 3.27% and 25% <sup>a</sup> | without information    | Holambra, SP                       | Camillo 2003                    |
| 3.6%                       | 85.7%                  | Cordeirópolis, SP                  | Bruckner and Silva 2001         |
| 7.5%                       | 50.8%                  | Presidente Prudente, SP            | Kavati 1998                     |
| 6% and 25% <sup>b</sup>    | 53%                    | Campinas, SP                       | Sazima and Sazima 1989          |
| 12%                        | 79%                    | Votuporanga, SP                    | Bruckner and Silva 2001         |
| 13% and 25% <sup>a</sup>   | without information    | São Luís do Curu, CE               | Freitas and Oliveira-Filho 2003 |
| 16%                        | 51.60%                 | Juazeiro, BA                       | Bos <i>et al.</i> 2007          |
| 19%                        | without information    | Campos dos Goytacazes, RJ          | Benevides 2006                  |
| 20%                        | 75.40%                 | Jaboticabal, SP                    | Ruggiero 1973                   |
| <b>25.2%</b>               | <b>66.5%</b>           | <b>Uberlândia and Araguari, MG</b> | <b>Present study</b>            |

<sup>a</sup> Respectively before and after introducing *Xylocopa*'s nests in the area,

<sup>b</sup> Respectively presence and absence of *Trigona* sp.

## FIGURE LEGENDS

FIGURE 1. Floral visitors of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* observed in orchards in Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil. Pollinators: (A) *Xylocopa* (*Megaxylocopa*) *frontalis*, (B) *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *grisescens*, (C) *Centris* (*Ptilotopus*) *scopipes*; (D) *Bombus* (*Fervidobombus*) *pauloensis*, (E) *Eulaema* (*Apeulaema*) *nigrita*, (F) *Acanthopus excellens*, (G) *Centris* (*Trachina*) *longimana*, (H) *Centris* (*Xanthemis*) *lutea*, (I) *Epicharis* (*Epicharis*) *flava*, (J) *Oxaea flavescens*, (L) *Oxaea austera*; Thieves: (M) *Apis mellifera*, (N) *Frieseomelitta varia* (O) *Trigona* sp.

FIGURE 2. Sample based rarefaction curves of yellow passion fruit flowers bee visitors in commercial orchads in the Triângulo Mineiro region, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil (A) floral visitors, and (B) effective pollinators.

FIGURE 3. Pollen tube growth for *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* under (A) stigma surface with pollen grains; (B) pollen tube development along the style; (C) detail of pollen grain germination; (D) pollen tube penetrating on ovules; (E) penetrated ovule on the right and not penetrated on the left. Scale: 1 mm.



FIGURE 1

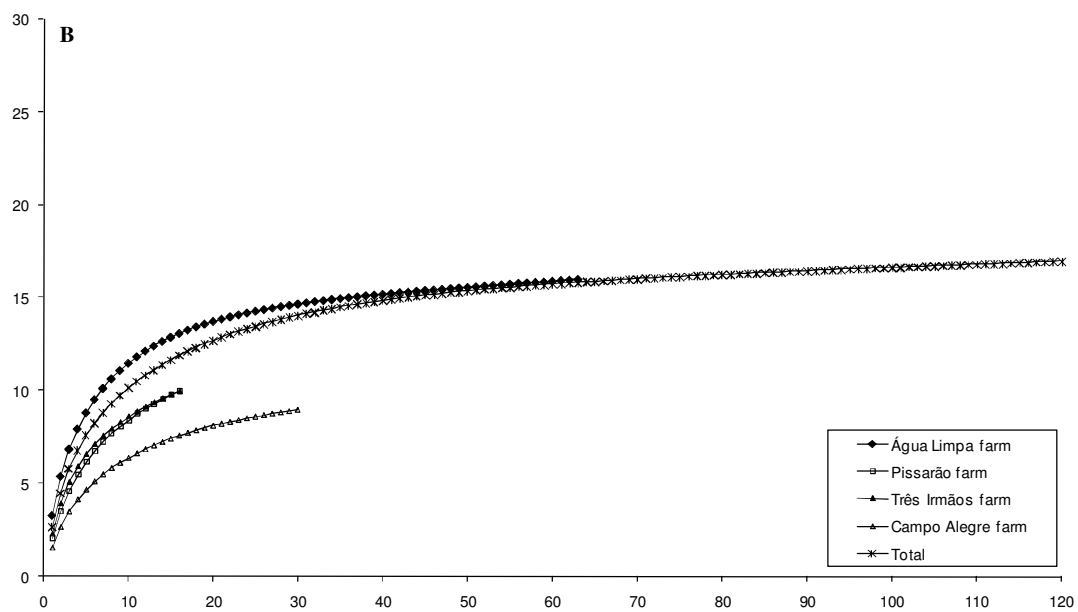
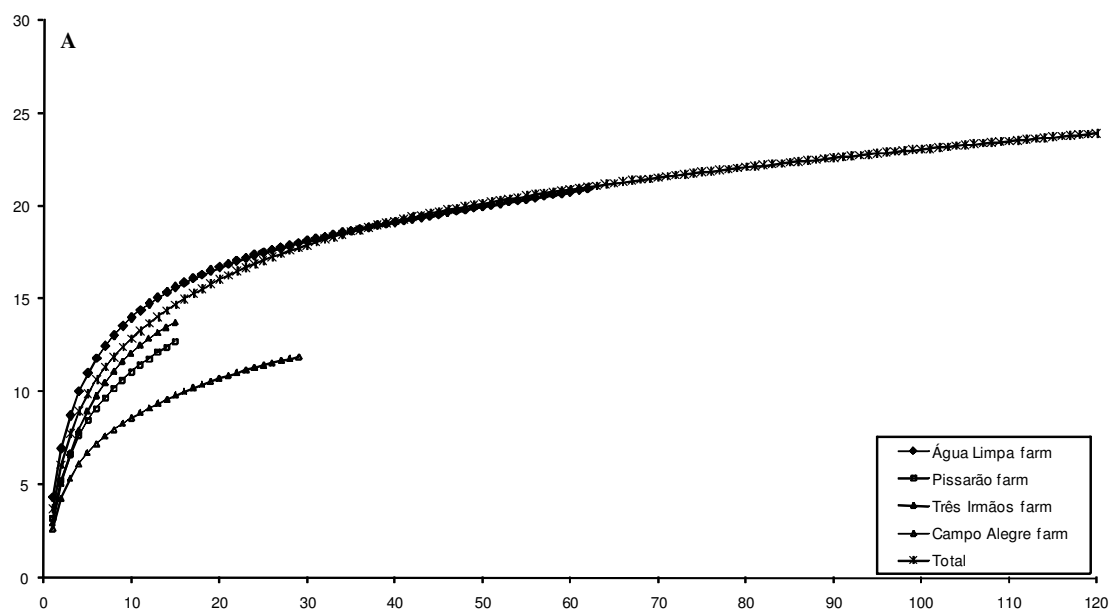


FIGURE 2

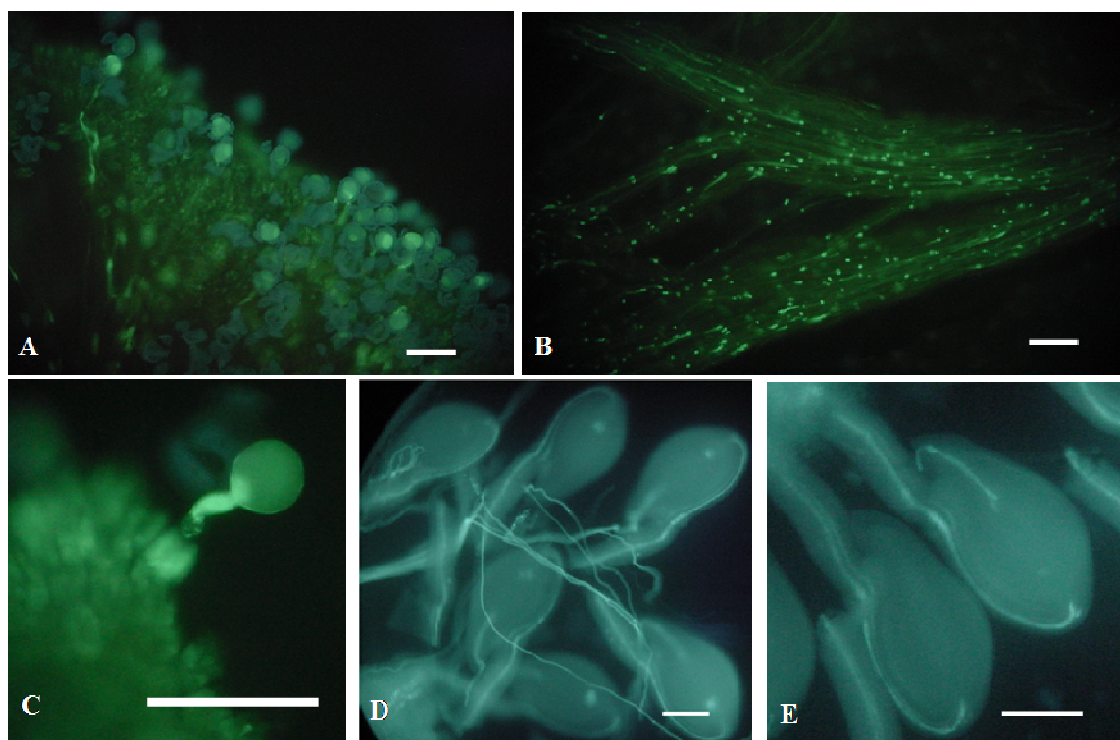


FIGURE 3

## **CAPÍTULO 2**

### **FREQÜÊNCIA DE VISITAS, COMPORTAMENTO E TAMANHO POPULACIONAL DOS POLINIZADORES DO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

## CAPÍTULO 2

### FREQÜÊNCIA DE VISITAS, COMPORTAMENTO E TAMANHO POPULACIONAL DOS POLINIZADORES DO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO

#### Introdução

O gênero *Passiflora* é representado por trepadeiras caracterizadas pelas belas flores providas de uma corona de origem receptacular e androginóforo conspícuo; inclui várias espécies que produzem frutos comestíveis e de qualidades medicinais (Souza & Lorenzi 2005). São conhecidas *ca.* 400 espécies Neotropicais, com *ca.* 120 espécies nativas do Brasil (Bernacci et al. 2003). O gênero parece ser claramente monofilético e análises recentes confirmam a separação em três clados bem definidos (Muschner et al. 2003). As espécies e variedades cultivadas para produção de frutos comestíveis estão incluídas no Clado *Passiflora* e apresentam, de maneira geral, flores maiores e polinização por abelhas grandes e vertebrados (Varassin 2005). Conforme observado em estudos de biologia de polinização, abelhas, beija-flores (e.g. Janzen 1968) e também morcegos foram relatados como polinizadores (e.g. em *P. mucronata* por Sazima & Sazima 1978).

Embora haja uma ampla variabilidade genética representada pela biodiversidade nativa, os plantios comerciais do Brasil utilizam mais comumente duas espécies: *Passiflora alata*, o maracujá doce e *P. edulis*, o maracujá azedo ou maracujá-amarelo que representa 95% dos cultivos (Meletti & Bruckner 2001). Este último é cultivado em grande número de estados brasileiros, fazendo com que o Brasil seja o maior produtor mundial (Bernacci et al. 2008). Na região central do Brasil, a cultura do maracujá tem-se revelado importante no processo do desenvolvimento sustentável como no Triângulo Mineiro, pólo industrial de processamento do suco desta fruta (Silva 2005).

A estrutura floral e uma combinação de sistemas de auto-incompatibilidade no maracujá-amarelo (Rêgo et al. 2000) condicionam a planta à polinização cruzada. Como

a polinização pelo vento não é efetiva (e.g. Ruggiero 1973, Manica 1981), a presença dos polinizadores se torna essencial. Abelhas de grande porte pertencentes aos gêneros *Xylocopa*, *Centris*, *Epicharis*, *Eulaema* e *Bombus* (e.g. Sazima & Sazima 1989, Leone 1990, Camillo 2003, Benevides 2006, Melo et al. 2006, Capítulo 1) foram registradas como polinizadoras do maracujá-amarelo no Brasil. Mas os polinizadores mais eficientes deste cultivo são as abelhas do gênero *Xylocopa* ou mamangavas-de-toco (e.g. Sazima & Sazima 1989, Camillo 2003, Melo et al. 2006, Bernardino & Gaglianone 2008), espécies solitárias que nidificam em madeira (Hurd 1978, Camillo & Garófalo 1982, Freitas & Oliveira-Filho 2001).

Na região foram registradas quatro espécies de *Xylocopa* visitando os pomares do maracujá-amarelo *X. (Megaxylocopa) frontalis* (Olivier, 1789), *X. (Neoxylocopa) suspecta* Moure & Camargo, 1988, *X. (Neoxylocopa) grisescens* Lepeletier, 1841 (todas estas espécies também foram observadas por Leone 1990) e *X. (Neoxylocopa) hirsutissima* Maidl, 1912 (Capítulo 1), mas não se conhece o tamanho da população destes polinizadores. E a baixa densidade destes polinizadores nativos nos pomares é um dos maiores problemas enfrentados na produtividade deste cultivo no Brasil (Camillo 2003, Freitas & Oliveira-Filho 2001) e em outros locais do mundo (Klein et al. 2007).

Em estudos prévios realizados na Região do Triângulo Mineiro foram registradas 27 espécies de abelhas visitantes das flores do maracujá-amarelo, das quais 17 foram consideradas polinizadoras do cultivo (Capítulo 1). Esta riqueza de polinizadores ajuda a explicar a produtividade natural média de frutos (25,2%) encontrada na região. No entanto, são necessárias mais informações sobre esta interação polinizador-cultivo para contribuir com as práticas de manejo e conservação destes polinizadores. Assim, o estudo teve como objetivo conhecer a frequência de visitação dos polinizadores (diária e mensal) durante o período de florescimento do maracujá-

amarelo na região do Triângulo Mineiro. Bem como analisar o comportamento das abelhas polinizadoras e estimar o tamanho populacional dos polinizadores deste cultivo em uma área de produção, relacionando estes parâmetros à frutificação natural.

## **Material e métodos**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado durante o período de florescimento do maracujá-amarelo em duas áreas de cultivo comercial denominadas: Fazenda Água Limpa (19°05'10,2"S, 48°21'15,2"W, 1,0ha de área cultivada em 2004/2005 e 0,5ha em 2006/2007) e Fazenda Campo Alegre (18°59'06,5"S, 48°14'26,7"W, 4,0ha), localizadas no município de Uberlândia, região do Triângulo Mineiro, sudeste do Brasil. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, marcado por duas estações bem definidas, uma seca e uma chuvosa (Rosa et al. 1991).

### **Espécie vegetal estudada**

*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deneger, o maracujá-amarelo, tem flores completas e solitárias, de colorido atraente, aromáticas e ricas em néctar. A flor apresenta cálice de cinco sépalas esverdeadas e corola com cinco pétalas livres, com coloração variando do branco a púrpura. Uma grande corona de filamentos de origem receptacular, coloridos de violeta na base e esbranquiçados no ápice, aparece ereta no centro da flor. As estruturas reprodutivas estão num androginóforo, suspensas *ca.* 1cm acima da inserção das pétalas e sépalas. O androceu é formado por cinco anteras grandes e versáteis. O gineceu é formado por um ovário trilocular, unilocular com *ca.* 300 óvulos de placentação parietal. Três estiletes se originam do ápice do ovário e posicionam as áreas estigmáticas no mesmo nível ou um pouco acima das anteras (Cervi 1997). A flor apresenta hipanto desenvolvido que envolve a base do androginóforo e

cria uma câmara nectarífera protegida por pêlos que impede o acesso ao néctar aqueles visitantes que não possuam força o suficiente para abrir o opérculo (Silva & São José 1994). O pólen é de coloração creme, sendo pesado e grande. O fruto é uma baga arredondada ou elíptica, com numerosas sementes recobertas por um arilo amarelo (Cervi 1997), parte utilizada diretamente na alimentação ou indústria.

As flores têm curta duração, abrem depois do meio-dia e fecham em torno das 22h (Sazima & Sazima 1989). Quando a fertilização não ocorre, as flores murcham, caem e não voltam a se abrir. O florescimento da planta é sincronizado e dependente do número de horas de insolação, que deve ser no mínimo de 11 horas (Bruckner & Silva 2001). Assim, na região a floração inicia-se nos meses de setembro-outubro e diminui em abril-maio (Silva 2005). Quando as flores abrem, os estiletes encontram-se na posição vertical e levam de 60min a 90min (Akamine & Girolami 1959, Ruggiero 1980, Bruckner & Silva 2001) para se curvarem até alcançarem o mesmo nível das anteras, quando podem ser tocados pelos polinizadores. Cerca de 30% das flores não apresentam curvatura total (Ruggiero 1980, Manica 1981), embora essa característica seja selecionada negativamente e tenda a ser menor nas mudas produzidas comercialmente (J.R. Silva comunicação pessoal). O período efetivo da polinização compreende desde a curvatura completa dos estiletes até o fechamento das flores (Bruckner & Silva 2001).

A disposição das partes florais apresenta mecanismos que dificultam a autopolinização no maracujá-amarelo, fazendo com que a espécie dependa diretamente de agentes polinizadores. Além disso, a polinização cruzada é necessária por causa da protandria, o grande tamanho do grão-de-pólen (Akamine & Girolami 1959) e principalmente por apresentar uma combinação de mecanismos de auto-incompatibilidade (Bruckner et al. 1995, Rêgo et al. 2000). A polinização do maracujá apresenta mecanismos peculiares e seu conhecimento é importante porque a qualidade do fruto depende da eficiência da polinização.

## 1. Comportamento e frequência dos visitantes

A frequência dos visitantes florais do maracujá-amarelo foi obtida de forma padronizada pelo método do censo em transecto (*sensu* Dafni et al. 2005). A padronização do método para observação da frequência de visitas dos polinizadores foi necessária para se obter parâmetros comparativos em análises futuras.

Os censos foram conduzidos entre os meses de março de 2006 a maio de 2007, quando as plantas se encontravam no período de florescimento, entre 12:30h e 17:30h, totalizando 52 horas de observação, distribuídas de forma equivalente nas duas áreas de estudo. Foram estabelecidos dois transectos de 50m seguindo as linhas do cultivo em cada uma das áreas, sendo que cada trecho foi percorrido por 10min, preferencialmente os minutos iniciais de cada hora, totalizando 20min de amostragem por hora. Antes de cada censo, a temperatura e a umidade relativa do ar foram registrados com o uso de termohigrômetro ou termômetro com bulbo seco e úmido.

Durante o censo, as flores abertas foram contadas e vistoriadas quanto aos visitantes em contato com suas partes florais. Os visitantes florais puderam ser identificados de forma rápida e registrados. Exemplos não identificados desta maneira no campo foram coletados com o auxílio de rede entomológica, sacrificados em acetato de etila, montados, identificados e depositados na Coleção Entomológica da Universidade Federal de Uberlândia.

O comportamento dos visitantes foi feito durante as observações de campo com auxílio de binóculos, câmera fotográfica e filmadora de vídeo. A frequência dos visitantes foi considerada como o número médio de visitas observado durante o período. A taxa de visitas dos polinizadores foi calculada como o número de visitas dos polinizadores pelo número de flores abertas, pelo tempo de observação. Análises de correlação de Spearman foram utilizadas para verificar relação de riqueza, frequência e

taxa de visitação dos polinizadores com a frutificação natural das áreas. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Zar 1999).

## **2. Classificação dos visitantes**

As abelhas foram classificadas em polinizadores quando tocavam as anteras e o estigma da flor promovendo a polinização e em pilhadores quando não ocorria o contato com os órgãos reprodutivos durante as visitas. Para ajudar na classificação dos visitantes como polinizadores, medidas da altura do tórax foram obtidas de exemplares das mesmas espécies coletadas nos cultivos do maracujá-amarelo e na região do Triângulo Mineiro. As medidas foram tomadas de exemplares da Coleção Entomológica da Universidade Federal de Uberlândia. Foi utilizada a classificação proposta por Silveira et al. (2002) e complementada com informações de Moure et al. (2007).

A frequência de ocorrência (FO) dos visitantes florais foi determinada utilizando-se a metodologia e classificação proposta por Buschini (2006), no qual  $FO = \text{número de ocorrências de uma espécie} / \text{total de amostras (dias)} \times 100$ . A espécie foi classificada como muito frequente (MF) quando a frequência de ocorrência foi maior ou igual a 50%; frequente (F) entre 25-50% e pouco frequente (PF) abaixo de 25% (Buschini 2006).

## **3. Tratamentos de polinização**

Para verificar a formação natural de frutos durante o período de floração, flores abertas foram escolhidas de forma aleatória nos mesmos transectos utilizados nos censos e marcadas com fitas coloridas para observação da formação de frutos. Tratamentos de polinização manual cruzada também foram realizados, pelo menos uma hora após a abertura das flores, utilizando plantas diferentes do mesmo pomar como doadoras de pólen. As flores escolhidas para os tratamentos de polinização

apresentaram curvatura total dos estiletes, foram distribuídas em plantas diferentes e também, procurou-se fazer ambos os tratamentos na mesma planta.

Os resultados foram observados verificando-se a formação de frutos 15 dias após os tratamentos. A eficiência de frutificação do cultivo foi calculada pela razão entre os frutos resultantes da polinização natural e os frutos resultantes da polinização manual cruzada (*sensu* Ruiz & Arroyo 1978). Ambos os testes de polinização foram realizados nos mesmos dias e procurou-se parear os tratamentos na mesma planta, com mesma altura e insolação, mas foram utilizadas várias plantas dentro do pomar para a realização dos testes. Para a análise, considerou-se como amostra os dias em que os testes de polinização foram realizados. Os resultados da frutificação natural e eficiência de frutificação do cultivo dos mesmos dias em que foram realizados os censos em transectos para avaliar sua relação com a frequência de visitas.

#### **4. Disponibilidade de pólen**

A quantidade de pólen disponível para o serviço de polinização durante o período em que as flores permaneceram abertas foi avaliada por meio da contagem dos grãos-de-pólen em câmara de Neubauer. Flores expostas à visitação foram escolhidas ao acaso ao longo do pomar e marcadas com fitas coloridas amarradas ao pedicelo (n=10 flores por área, coletadas nos meses de janeiro e maio). Uma antera de cada flor marcada foi coletada durante a antese e depois, a partir de cada hora. A partir do cálculo do número de grãos-de-pólen por antera, foi estimada a quantidade disponível por flor. O material foi armazenado em álcool 70% até o procedimento de contagem no laboratório.

## **5. Estimativa populacional dos polinizadores**

Dentro deste tópico, o termo “população” foi utilizado como o número de indivíduos das espécies de abelhas polinizadoras que visitaram as flores na área de estudo (Begon et al. 1996). A metodologia foi aplicada apenas na Fazenda Água Limpa, área com maior frequência de visitantes observada previamente. As estimativas do tamanho da população dos polinizadores foram calculadas pelo método de Jolly-Seber, indicado para populações abertas, com o uso do programa Ecological Methodology (Krebs 1999).

Para a marcação dos indivíduos, as abelhas foram capturadas com rede entomológica e acondicionadas em uma seringa modificada a fim de posicioná-las para marcação (Figura 1). Uma etiqueta numerada de 2mm x 1mm, impermeabilizada com verniz, foi colada ao mesotórax das abelhas com cola permanente SuperBonder® (Figura 1). Após a secagem da cola, os indivíduos marcados foram soltos na tentativa de recaptura.

A estimativa populacional dos polinizadores foi realizada em dois períodos, a primeira entre os dias 29 de março a 01 de abril de 2005 em um plantio de maracujá-amarelo de aproximadamente 1,0ha e a segunda estimativa de 22 a 26 de janeiro de 2007 em um plantio de 0,5ha. As capturas da primeira amostragem foram feitas por uma pessoa com experiência no uso da rede entomológica, com 2,5 horas de amostragem por dia, em quatro dias consecutivos de marcações e recapturas dos polinizadores. Na segunda amostragem, duas pessoas coletaram as abelhas, sendo uma delas com experiência em capturas, com 2,0 horas de amostragem por dia, em cinco dias consecutivos de atividades. A temperatura e a umidade relativa do ar foram registradas com o auxílio de um termohigrômetro.

Na amostragem de 2007, paralelamente, foi feita a contagem das flores abertas de ambos os lados de um transecto de 50m seguindo as linhas de cultivo para estimar a

quantidade de flores abertas por dia. Além disso, foram marcadas aleatoriamente 30 flores por dia para avaliar o sucesso da frutificação natural. Tratamentos de polinizações manuais cruzadas foram feitos em 20 flores em apenas um dos dias de observação, seguindo metodologia descrita no subtópico 3.

A metodologia de marcação das abelhas permitiu a individualização dos polinizadores e assim foi possível conhecer a sua abundância durante o período de amostragem. O coeficiente de Spearman foi utilizado para verificar a correlação entre a abundância dos polinizadores e as variáveis de temperatura, umidade, número de flores abertas e de frutificação natural (Zar 1999).



Figura 1 – Marcação das abelhas polinizadoras do maracujá-amarelo com a etiqueta numerada (A) seringa modificada (B) detalhe do posicionamento da abelha na seringa e do local de colagem da etiqueta, (b) indivíduo marcado visitando as flores. Fotos: Probio conv. 0112-00/2005.

## Resultados

### 1. Comportamento e frequência dos visitantes

Foram observadas 19 espécies de abelhas visitando as flores do maracujá-amarelo, das quais 16 espécies foram classificadas como polinizadoras do cultivo e as demais como pilhadoras de recurso. Entre os visitantes observados, as abelhas de maior porte (>1,2cm de comprimento) e com altura de tórax superior a 0,7cm foram consideradas polinizadoras porque tocaram as anteras e os estigmas na maioria das visitas. Nesta categoria, foram incluídas as abelhas *Acanthopus excellens*, *Bombus* (*Fervidobombus*) *pauloensis*, *Centris* spp, *Epicharis* (*Epicharana*) *flava*, *Eulaema* (*Apeulaema*) *nigrita* e *Xylocopa* spp (Tabela 1). Também foram observadas espécies com altura do tórax entre 0,58cm e 0,6cm e incluíram as abelhas *Oxaea flavescens*, *O. austera*, *Epicharis* (*Epicharis*) *bicolor* que visitaram as flores em busca do néctar com o comportamento semelhante ao observado nos polinizadores, podendo ser consideradas como polinizadoras eventuais.

Entre as abelhas visitantes de menor porte (<1,2 cm de comprimento) e com altura do tórax inferior a 0,5cm incluíram *Apis mellifera* que visitou as flores do maracujá-amarelo em busca de pólen e de néctar, *Augochlora* sp. foi observada tentando acessar a câmara de néctar. E alguns representantes da Tribo Meliponini, que não puderam ser identificados até o nível específico nas observações de campo, foram agrupados no táxon Meliponini. Do material amostrado foram identificadas as espécies *Trigona spinipes*, *T. hyalinata*, *Trigona* sp., *Paratrigona lineata* e *Scaptotrigona* sp. O grupo apresentou o mesmo comportamento na flor, não comprometendo os resultados. Seus representantes coletaram néctar perfurando a parte inferior da flor até acessar a câmara nectarífera. Todas essas abelhas raramente tocaram anteras e estigmas e quando tocavam, havia pouca ou nenhuma transferência de pólen, sendo classificadas como pilhadoras.

Além das abelhas, outros visitantes observados incluíram os beija-flores *Eupetomena macroura* (Gmelin, 1788) e *Phaetornis pretrei* (Lesson & Dellatre 1839) (Trochilidae), vespas pertencentes aos gêneros *Polybia* sp. e *Polistes* sp. e borboletas. Destes, apenas os beija-flores poderiam eventualmente contribuir para a polinização, mas devido à baixa frequência (normalmente um ou no máximo dois indivíduos por área) não foram incluídos nas análises.

Tabela 1 – Comportamento, frequência relativa de visitas (FR) e frequência de ocorrência (FO) das abelhas visitantes de flores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), em áreas de cultivo de Uberlândia, MG, no período de março de 2006 a maio de 2007. (comportamento: PO – polinizador, PI – pilhador; Classificação: MF - muito freqüente, F- freqüente, PF- pouco freqüente).

| Visitantes florais                                                           | Comportamento | Número visitas | FR (%) | FO (%) | Classificação |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|--------|--------|---------------|
| <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                                         | PI            | 810            | 39,42  | 100,0  | MF            |
| Meliponini*                                                                  | PI            | 660            | 32,12  | 100,0  | MF            |
| <i>Xylocopa</i> ( <i>Neoxylocopa</i> ) <i>suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | PO            | 173            | 8,42   | 70,0   | MF            |
| <i>Xylocopa</i> ( <i>Megaxylocopa</i> ) <i>frontalis</i> (Olivier, 1789)     | PO            | 160            | 7,79   | 55,0   | MF            |
| <i>Centris</i> ( <i>Ptilotopus</i> ) <i>scopipes</i> Friese, 1899            | PO            | 125            | 6,08   | 55,0   | MF            |
| <i>Bombus</i> ( <i>Fervidobombus</i> ) <i>pauloensis</i> Friese, 1913        | PO            | 45             | 2,19   | 30,0   | F             |
| <i>Xylocopa</i> ( <i>Neoxylocopa</i> ) <i>griseocens</i> Lepeletier, 1841    | PO            | 17             | 0,83   | 30,0   | F             |
| <i>Acanthopus excellens</i> Schrottky, 1902                                  | PO            | 8              | 0,39   | 30,0   | F             |
| <i>Centris</i> ( <i>Trachina</i> ) <i>longimana</i> Fabricius, 1804          | PO            | 14             | 0,68   | 25,0   | F             |
| <i>Epicharis</i> ( <i>Epicharis</i> ) <i>bicolor</i> Smith, 1874             | PO            | 11             | 0,54   | 25,0   | F             |
| <i>Centris</i> ( <i>Xanthemis</i> ) <i>lutea</i> Friese, 1899                | PO            | 8              | 0,39   | 20,0   | PF            |
| <i>Oxaea austera</i> Gertäcker, 1867                                         | PO            | 6              | 0,29   | 15,0   | PF            |
| <i>Xylocopa</i> ( <i>Neoxylocopa</i> ) <i>hirsutissima</i> Maidl, 1912       | PO            | 4              | 0,19   | 15,0   | PF            |
| <i>Centris</i> ( <i>Ptilotopus</i> ) <i>denudans</i> Lepeletier, 1841        | PO            | 7              | 0,34   | 10,0   | PF            |
| <i>Centris</i> ( <i>Centris</i> ) <i>flavifrons</i> (Fabricius, 1775)        | PO            | 2              | 0,10   | 10,0   | PF            |
| <i>Eulaema</i> ( <i>Apeulaema</i> ) <i>nigrita</i> Lepeletier, 1841          | PO            | 2              | 0,10   | 5,0    | PF            |
| <i>Centris</i> ( <i>Ptilotopus</i> ) <i>sponsa</i> Smith, 1854               | PO            | 1              | 0,05   | 5,0    | PF            |
| <i>Augochlora</i> sp.                                                        | PI            | 1              | 0,05   | 5,0    | PF            |
| <i>Epicharis</i> ( <i>Epicharana</i> ) <i>flava</i> (Friese, 1900)           | PO            | 1              | 0,05   | 5,0    | PF            |

\* Incluem as espécies *Trigona spinipes*, *T. hyalinata*, *Trigona* sp., *Paratrigona lineata* e *Scaptotrigona* sp.

### 1.1. Comportamento de forrageio dos visitantes florais

O comportamento de forrageio das abelhas do gênero *Xylocopa* apresentou uma particularidade não observada nas demais espécies visitantes. Ao pousar na flor, as abelhas apoiavam-se nos filamentos da coroa e caminhavam para o centro da flor até a base do androginóforo para acessar a câmara nectarífera. E durante a sucção do néctar,

essas abelhas movimentavam a parte anterior do corpo para cima e para baixo e encostavam o dorso nos estigmas e nas anteras várias vezes promovendo a polinização e adquirindo mais pólen aderido ao corpo. O diferencial no comportamento observado nas abelhas do gênero *Xylocopa* foi que ao sugar o néctar, elas permaneceram alguns segundos numa mesma posição e então, se movimentavam ao redor do androginóforo para acessar outros pontos da câmara nectarífera. Associando este comportamento ao descrito anteriormente, estas abelhas conseguiram tocar um maior número de anteras e estigmas da flor. As espécies de maior porte como *X. frontalis* e *X. grisea* se ajustaram perfeitamente a altura do androginóforo da flor mostrando-se eficientes na polinização do maracujá-amarelo. No entanto, as representantes de menor porte, *X. hirsutissima* e *X. suspecta*, também se mostraram bons polinizadores por apresentarem comportamento similar às anteriores e principalmente pela alta frequência apresentada por *X. suspecta*.

As demais espécies consideradas polinizadoras executaram o mesmo comportamento ao buscar o néctar, mas não apresentaram o ato comportamental de elevação da parte posterior associada ao movimento de giro em torno do androginóforo. Por exemplo, para *Centris (Ptilotopus) scopipes* acessar a câmara de néctar, o indivíduo prendia as mandíbulas na base do androginóforo e então distendia a glossa até atingir o néctar. Durante a coleta do alimento, esta abelha se abaixava na altura da corola, não atingindo a altura das estruturas reprodutivas neste momento, mas tocava as anteras e estigmas, por seu tamanho avantajado, durante a chegada e saída da flor. Indivíduos de *Bombus (Fervidobombus) pauloensis* apresentaram um movimento mais rápido de giro em torno do androginóforo ao succionar o néctar, mas não elevavam a parte anterior do corpo e apenas os exemplares de maior porte poderiam funcionar como polinizadores eficientes tocando as partes reprodutivas da flor.

Outra espécie que apresentou um comportamento distinto foi *Eulaema* (*Apeulaema*) *nigrita*, a abelha pousava nas flores como descrito anteriormente para as demais espécies, mas para acessar a câmara de néctar, o indivíduo levantava as pernas anteriores para distender a glossa, e desta forma, a parte posterior da cabeça da abelha tocava os estigmas e as anteras, devido ao longo comprimento da glossa (ca. 1,8 cm, Barretos & Freitas 2007). Embora funcione como boa polinizadora do cultivo, a espécie foi pouco freqüente. Deste modo, o comportamento apresentado pelas espécies de *Xylocopa* encontradas nos pomares do maracujá-amarelo, indicou a melhor eficiência destas abelhas como polinizadoras deste cultivo. E devido a alta freqüência, especialmente de *X. suspecta* e *X. frontalis*, foram classificadas como os polinizadores mais efetivos do cultivo na região.

O comportamento de forrageamento de *A. mellifera* variou durante o período em que as flores estiveram abertas, a espécie foi observada mesmo antes da abertura das flores, chegando a forçar a abertura das mesmas para uma coletar o pólen intensivamente (com até 15 indivíduos por flor). Para tal, os indivíduos pousavam diretamente nas anteras e com os primeiros pares de pernas coletavam o pólen e sobrevoavam próximo à flor durante o armazenamento do pólen nas corbículas. Depois do esgotamento deste recurso, a espécie visitou as flores com menor freqüência, em busca do néctar, pousando na corona ou acessando a câmara de néctar pela parte inferior da flor, por uma abertura feita por Meliponini. Em ambas as situações, não houve toque nas anteras ou estigmas da flor.

## **1.2. Freqüência e classificação dos visitantes**

A classificação dos visitantes juntamente com suas freqüências absolutas e relativas de ocorrência é apresentada na Tabela 1. As abelhas classificadas como pilhadoras de recurso *A. mellifera* (39,42%) e Meliponini (32,12%) foram as mais

avistadas nas flores do maracujá-amarelo sendo classificadas como muito freqüentes (MF) pela freqüência de ocorrência e juntas, estas espécies somaram mais de 70% da freqüência relativa de visitas. Seguidas dos polinizadores *X. suspecta* (8,42%), *X. frontalis* (6,08%) e *C. scopipes* (7,79%), espécies também classificadas como muito freqüentes (MF) com 22,29% da freqüência relativa dos visitantes (Tabela 1). As abelhas classificadas como freqüentes (F), incluíram cinco espécies de polinizadores que somaram quase 5% da freqüência relativa e os classificados como pouco freqüentes (PF) envolveram oito espécies de polinizadores e apenas uma pilhadora que resultaram em menos de 2% da freqüência de visitas (Tabela 1).

### **1.2.1. Freqüência diária dos visitantes**

Analizando a freqüência diária média dos visitantes florais do maracujá-amarelo, polinizadores e pilhadores estiveram presentes em todos os horários de observação em ambas as áreas. Os polinizadores já sobrevoavam os pomares pouco antes da abertura das flores, e foram mais freqüentes entre 13h e 15h (Tabelas 2 e 3, Figura 2). Já os pilhadores tenderam a ser mais freqüentes durante a abertura das flores, diminuindo sua freqüência gradativamente até as 17h (Tabelas 2 e 3, Figura 2). Foram registradas 15 espécies de polinizadores (sendo oito espécies exclusivas) na Fazenda Água Limpa e apenas oito espécies (uma exclusiva) foram observadas na Fazenda Campo Alegre. A freqüência relativa diária dos polinizadores e pilhadores foi próxima a 50% na Fazenda Água Limpa, enquanto que na Fazenda Campo Alegre, a freqüência relativa dos polinizadores foi de 16,4% e a dos pilhadores de 83,6% (Tabelas 2 e 3). A temperatura ( $30^{\circ}\text{C} \pm 0,51^{\circ}\text{C}$ ,  $n = 24$  dias) e a umidade ( $57\% \pm 2,61\%$ ,  $n = 24$  dias) não apresentaram grandes variações ao longo do dia e a quantidade média de flores abertas por dia foi de  $45 (\pm 41,11)$ ,  $n = 24$  dias (Tabelas 2 e 3, Figura 2).

Tabela 2 – Frequência relativa diária dos visitantes florais do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa).

| <b>Fazenda Água Limpa</b>                                    | <b>12:00</b> | <b>13:00</b> | <b>14:00</b> | <b>15:00</b> | <b>16:00</b> | <b>17:00</b> | <b>Média</b>            |
|--------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Temperatura (°C)                                             | 29,0         | 29,3         | 29,8         | 29,5         | 28,6         | 29,0         | <b>29,2</b>             |
| Umidade (%)                                                  | 55,5         | 50,6         | 48,8         | 52,1         | 56,7         | 60,0         | <b>53,9</b>             |
| Número de flores                                             | 26           | 32           | 62           | 66           | 62           | 22           | <b>45</b>               |
| <b>Visitantes florais</b>                                    |              |              |              |              |              |              | <b>FR (%) / espécie</b> |
| <i>Acanthopus excellens</i> Schrottky, 1902                  | 0,38         | 0,76         | 0,38         | 0,38         | 0,38         | 0,00         | <b>2,27</b>             |
| <i>Bombus (Fervidobombus) pauloensis</i> Friese, 1913        | 0,00         | 1,77         | 0,57         | 1,36         | 1,33         | 0,00         | <b>5,03</b>             |
| <i>Centris (Centris) flavifrons</i> (Fabricius, 1775)        | 0,00         | 0,00         | 0,38         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>0,38</b>             |
| <i>Centris (Ptilotopus) denudans</i> Lepeletier, 1841        | 0,00         | 0,38         | 0,76         | 0,38         | 0,38         | 0,00         | <b>1,89</b>             |
| <i>Centris (Ptilotopus) scopipes</i> Friese, 1899            | 0,57         | 2,05         | 1,30         | 2,22         | 1,06         | 1,14         | <b>8,33</b>             |
| <i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804          | 0,38         | 0,76         | 0,38         | 0,76         | 0,38         | 0,00         | <b>2,65</b>             |
| <i>Centris (Xanthemis) lutea</i> Friese, 1899                | 0,00         | 0,00         | 0,51         | 0,57         | 0,00         | 0,00         | <b>1,07</b>             |
| <i>Epicharis (Epicharis) flava</i> (Friese, 1900)            | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,38         | 0,00         | 0,00         | <b>0,38</b>             |
| <i>Epicharis (Epicharis) bicolor</i> Smith, 1874             | 0,00         | 0,88         | 0,76         | 0,38         | 0,00         | 0,00         | <b>2,02</b>             |
| <i>Eulaema (Apeulaema) nigrita</i> Lepeletier, 1841          | 0,00         | 0,00         | 0,38         | 0,38         | 0,00         | 0,00         | <b>0,76</b>             |
| <i>Oxaea austera</i> Gertäcker, 1867                         | 0,00         | 0,00         | 0,76         | 0,76         | 0,38         | 0,00         | <b>1,89</b>             |
| <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | 1,14         | 2,41         | 2,16         | 2,06         | 1,21         | 1,89         | <b>10,88</b>            |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) griseocens</i> Lepeletier, 1841    | 0,00         | 0,38         | 0,66         | 0,51         | 0,38         | 0,00         | <b>1,93</b>             |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima</i> Mädl, 1912        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,38         | 0,38         | 0,00         | <b>0,76</b>             |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | 1,14         | 1,68         | 1,89         | 2,70         | 1,52         | 0,38         | <b>9,30</b>             |
| <b>FR (%) polinizadores/hora</b>                             | <b>3,60</b>  | <b>11,06</b> | <b>10,88</b> | <b>13,20</b> | <b>7,39</b>  | <b>3,41</b>  | <b>49,54</b>            |
| <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                         | 10,98        | 12,17        | 5,30         | 1,30         | 0,51         | 0,00         | <b>30,26</b>            |
| <i>Augochlora</i> sp.                                        | 0,00         | 0,00         | 0,38         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | <b>0,38</b>             |
| Meliponini                                                   | 5,49         | 4,25         | 3,26         | 3,16         | 2,27         | 1,14         | <b>19,57</b>            |
| <b>FR (%) pilhadores/hora</b>                                | <b>16,48</b> | <b>16,42</b> | <b>8,94</b>  | <b>4,46</b>  | <b>2,78</b>  | <b>1,14</b>  | <b>50,21</b>            |

Tabela 3 – Frequência relativa diária dos visitantes florais do maracujá-amarelo da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa, no – não observado)

| <b>Fazenda Campo Alegre</b>                                  | <b>12:00</b> | <b>13:00</b> | <b>14:00</b> | <b>15:00</b> | <b>16:00</b> | <b>17:00</b> | <b>Média</b>            |
|--------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Temperatura (°C)                                             | no           | 31,5         | 30,1         | 30,0         | 31,0         | no           | <b>30,7</b>             |
| Umidade (%)                                                  | no           | 52,0         | 57,0         | 58,6         | 40,0         | no           | <b>51,9</b>             |
| Número de flores                                             | no           | 24           | 45           | 48           | 25           | no           | <b>35</b>               |
| <b>Visitantes florais</b>                                    |              |              |              |              |              |              | <b>FR (%) / espécie</b> |
| <i>Centris (Ptilotopus) scopipes</i> Friese, 1899            | no           | 2,24         | 0,00         | 0,00         | 1,49         | no           | <b>3,73</b>             |
| <i>Centris (Ptilotopus) sponsa</i> Smith, 1854               | no           | 0,00         | 0,75         | 0,00         | 0,00         | no           | <b>0,75</b>             |
| <i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804          | no           | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,75         | no           | <b>0,75</b>             |
| <i>Centris (Xanthemis) lutea</i> Friese, 1899                | no           | 0,75         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | no           | <b>0,75</b>             |
| <i>Epicharis (Epicharis) bicolor</i> Smith, 1874             | no           | 0,75         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | no           | <b>0,75</b>             |
| <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | no           | 1,49         | 0,00         | 1,49         | 0,00         | no           | <b>2,99</b>             |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima</i> Mädl, 1912        | no           | 0,00         | 0,75         | 0,00         | 0,00         | no           | <b>0,75</b>             |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | no           | 1,49         | 2,24         | 1,49         | 0,75         | no           | <b>5,97</b>             |
| <b>FR (%) polinizadores/hora</b>                             | <b>no</b>    | <b>6,72</b>  | <b>3,73</b>  | <b>2,99</b>  | <b>2,99</b>  | <b>no</b>    | <b>16,4</b>             |
| <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                         | no           | 29,10        | 6,72         | 8,21         | 0,75         | no           | <b>44,8</b>             |
| Meliponini                                                   | no           | 17,91        | 11,19        | 8,21         | 1,49         | no           | <b>38,8</b>             |
| <b>FR (%) pilhadores/hora</b>                                | <b>no</b>    | <b>47,01</b> | <b>17,91</b> | <b>16,42</b> | <b>2,24</b>  | <b>no</b>    | <b>83,6</b>             |

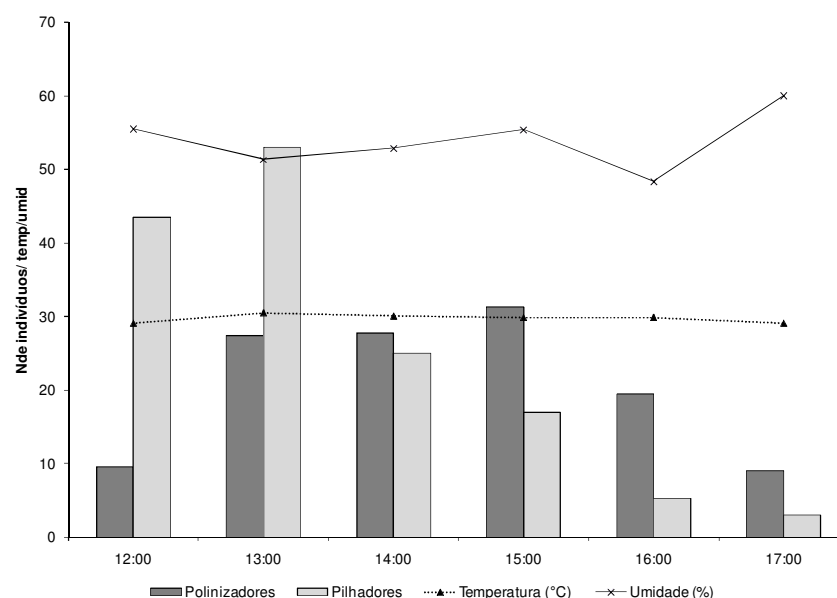


Figura 2 – Número médio de polinizadores e pilhadores observados por hora visitando as flores do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa e da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG, nos anos 2006 e 2007.

As visitas das espécies de *Xylocopa* nas flores do maracujá-amarelo ocorreram durante todos os horários observados, com maior frequência de visitas entre 13h e 15h, sendo que *X. frontalis* e *X. suspecta* foram observadas até o final da tarde (Figura 3A). E juntamente com *C. scopipes*, foram os polinizadores mais frequentes em ambas as áreas de estudo, com 31,2% de frequência relativa na Fazenda Água Limpa (Tabela 2) e 13,4% na Fazenda Campo Alegre (Tabela 3). Já as demais representantes polinizadoras como *X. grisescens* foram avistadas em apenas uma das áreas entre 13h e 16h e abelhas *X. hirsutissima* ocorreram em ambas as áreas entre 14h e 16h com frequências relativas inferiores a 3,0%.

A frequência de visitas de *A. mellifera* apresentou variação durante o período de abertura das flores e de acordo com o recurso coletado, sendo que  $89,3\% \pm 12,58\%$  (média  $\pm$  desvio padrão) das visitas a espécie foi observada coletando pólen e apenas  $10,7\% \pm 2,28\%$  em coleta de néctar (Figura 3B).

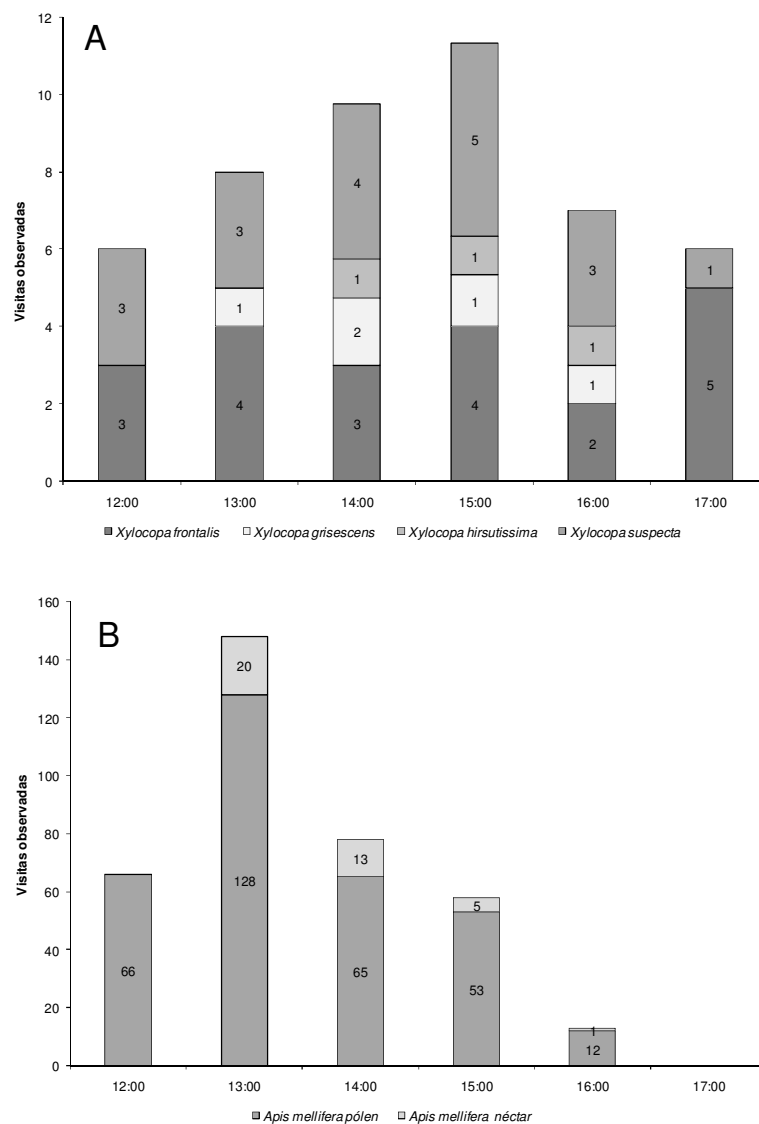


Figura 3 – Frequência média de visitas (A) das abelhas *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens*, *X. hirsutissima* e *X. suspecta* (B) e de *Apis mellifera* com o recurso utilizado, durante o período de abertura das flores do maracujá-amarelo por nas áreas de cultivo da Fazenda Água Limpa e da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. O número dentro das barras indica a quantidade média de indivíduos observados.

### 1.2.2. Frequência dos visitantes ao longo dos meses de florescimento

Os meses de observação diferiram entre as áreas devido ao período de florescimento desigual, influenciado pela época de plantio dos cultivos (veja também nas Tabelas 4 e 5). Os pilhadores foram observados em todos os meses de florescimento do maracujá-amarelo, o que não ocorreu com os polinizadores. Pilhadores apresentaram maior frequência especialmente nos meses de início do florescimento, setembro ou novembro, e no final de florescimento em maio e junho dependendo da área (Tabelas 4 e 5). Nos meses em que se observou uma maior riqueza de espécies de polinizadores (outubro/2006, fevereiro e março de 2007), houve uma menor frequência dos pilhadores. A frequência relativa dos polinizadores da Fazenda Água Limpa (26,0%) foi maior do que a encontrada na Fazenda Campo Alegre (5,9%) e considerando apenas as abelhas do gênero *Xylocopa*, as frequências relativas foram de 15% e 3,5% para cada área, respectivamente. Não houve correlação significativa entre a frequência dos polinizadores com as variáveis: temperatura, umidade ou número de flores ( $r_s=0,4086$ ,  $p=0,2121$ ,  $n=11$ ;  $r_s=0,5662$ ,  $p=0,0693$ ,  $n=11$  e  $r_s=0,1142$ ,  $p=0,7382$ ,  $n=11$ , respectivamente).

As espécies de *Xylocopa* também ocorreram em meses diferentes durante a floração do maracujá-amarelo (Tabelas 4 e 5, Figura 4A). Sendo que, *X. frontalis* e *X. suspecta* foram observadas com maiores frequências na maioria do período em que ocorreram as flores, enquanto que *X. grisescens* e *X. hirsutissima* foram mais raras e avistadas pontualmente nos pomares (Tabelas 4 e 5, Figura 4A). *Xylocopa grisescens* foi observada nos meses de outubro, janeiro e fevereiro, enquanto que *X. hirsutissima* ocorreu nos pomares apenas nos meses de abril e outubro. Nos meses de novembro e dezembro de 2006 ocorreram chuvas intensas e intermitentes que deixaram os maracujazeiros bastante debilitados e prejudicaram o seu florescimento.

Tabela 4 – Frequência relativa dos visitantes florais nos meses de florescimento do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa).

| Fazenda Água Limpa                                           | jun/06      | set/2006     | out/06       | jan/07      | fev/07      | mai/07       | Média                   |
|--------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------|
| Temperatura (°C)                                             | 24          | 33           | 29           | no          | 32          | 30           | 30                      |
| Umidade (%)                                                  | 51          | 38           | 59           | no          | 62          | 43           | 51                      |
| Número de flores                                             | 5           | 138          | 66           | 10          | 84          | 36           | 57                      |
| Frutificação natural (%)                                     | 18          | 5            | 33           | 38          | 3           | 25           | 20                      |
| Frutificação manual cruzada (%)                              | no          | 85           | 82           | 55          | 27          | 70           | 64                      |
| <b>Visitantes florais</b>                                    |             |              |              |             |             |              | <b>FR (%) / espécie</b> |
| <i>Acanthopus excellens</i> Schrottky, 1902                  | 0,00        | 0,00         | 0,17         | 0,22        | 0,11        | 0,00         | 0,5                     |
| <i>Bombus (Fervidobombus) pauloensis</i> Friese, 1913        | 0,00        | 0,00         | 1,89         | 0,00        | 0,31        | 0,00         | 2,2                     |
| <i>Centris (Centris) flavifrons</i> (Fabricius, 1775)        | 0,00        | 0,00         | 0,11         | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,1                     |
| <i>Centris (Ptilotopus) denudans</i> Lepeletier, 1841        | 0,00        | 0,00         | 0,39         | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,4                     |
| <i>Centris (Ptilotopus) scopipes</i> Friese, 1899            | 0,00        | 0,00         | 2,62         | 0,78        | 1,75        | 0,00         | 5,2                     |
| <i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804          | 0,00        | 0,00         | 0,33         | 0,11        | 0,00        | 0,00         | 0,4                     |
| <i>Centris (Xanthemis) lutea</i> Friese, 1899                | 0,00        | 0,00         | 0,22         | 0,00        | 0,50        | 0,00         | 0,7                     |
| <i>Epicharis (Epicharis) flava</i> (Friese, 1900)            | 0,00        | 0,00         | 0,06         | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,1                     |
| <i>Epicharis (Epicharis) bicolor</i> Smith, 1874             | 0,00        | 0,00         | 0,39         | 0,00        | 0,33        | 0,00         | 0,7                     |
| <i>Eulaema (Apeulaema) nigrita</i> Lepeletier, 1841          | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,22        | 0,00         | 0,2                     |
| <i>Oxaea austera</i> Gertäcker, 1867                         | 0,00        | 0,00         | 0,11         | 0,00        | 0,33        | 0,00         | 0,4                     |
| <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | 0,00        | 0,00         | 1,89         | 1,89        | 2,81        | 0,22         | 6,8                     |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) grisea</i> Lepeletier, 1841        | 0,00        | 0,00         | 0,45         | 0,56        | 0,19        | 0,00         | 1,2                     |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima</i> Maidl, 1912       | 0,00        | 0,00         | 0,17         | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,2                     |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | 0,00        | 0,00         | 2,67         | 1,45        | 2,39        | 0,33         | 6,8                     |
| <b>FR (%) polinizadores/hora</b>                             | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | <b>11,47</b> | <b>5,01</b> | <b>8,96</b> | <b>0,56</b>  | <b>26,0</b>             |
| <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                         | 1,11        | 24,39        | 9,13         | 3,90        | 0,50        | 9,69         | 48,7                    |
| <i>Augochlora</i> sp.                                        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,11        | 0,00         | 0,1                     |
| Meliponini                                                   | 3,90        | 4,68         | 4,90         | 1,45        | 2,14        | 8,13         | 25,2                    |
| <b>FR (%) pilhadores/hora</b>                                | <b>5,01</b> | <b>29,06</b> | <b>14,03</b> | <b>5,35</b> | <b>2,76</b> | <b>17,82</b> | <b>74,0</b>             |

Tabela 5 – Frequência relativa dos visitantes florais nos meses de florescimento do maracujá-amarelo da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. Resultados obtidos pelo método do censo em transectos (*sensu* Dafni et al. 2005) nos anos 2006 e 2007. (FR – frequência relativa, no – não observado).

| Fazenda Campo Alegre                                         | mar/06       | abr/06       | mai/06      | nov/06       | dez/06       | jan/07       | mar/07      | abr/07      | Média                   |
|--------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------------------|
| Temperatura (°C)                                             | no           | 37           | 27          | 30           | 28           | 28           | 31          | 31          | 30                      |
| Umidade (%)                                                  | no           | 44           | 65          | 61           | 59           | 75           | 49          | 42          | 56                      |
| Número de flores                                             | 84           | 19           | 43          | 66           | 45           | 28           | 83          | 30          | 45                      |
| Frutificação natural (%)                                     | 33           | 52           | no          | 0            | no           | no           | 13          | 0           | 20                      |
| Frutificação manual cruzada (%)                              | 87           | 90           | no          | 29           | no           | no           | 72          | 0           | 56                      |
| <b>Visitantes florais</b>                                    |              |              |             |              |              |              |             |             | <b>FR (%) / espécie</b> |
| <i>Centris (Ptilotopus) scopipes</i> Friese, 1899            | 0,46         | 0,77         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,15         | 0,00        | 0,46        | 1,8                     |
| <i>Centris (Ptilotopus) sponsa</i> Smith, 1854               | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,15         | 0,00         | 0,00        | 0,00        | 0,2                     |
| <i>Centris (Xanthemis) lutea</i> Friese, 1899                | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,15        | 0,00        | 0,2                     |
| <i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804          | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,15         | 0,00        | 0,00        | 0,2                     |
| <i>Epicharis (Epicharis) bicolor</i> Smith, 1874             | 0,15         | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,00        | 0,2                     |
| <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | 0,00         | 0,15         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,15         | 0,00        | 0,46        | 0,8                     |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima</i> Maidl, 1912       | 0,00         | 0,15         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00        | 0,00        | 0,2                     |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | 0,15         | 0,69         | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 1,07         | 0,46        | 0,15        | 2,5                     |
| <b>FR (%) polinizadores/hora</b>                             | <b>0,77</b>  | <b>1,76</b>  | <b>0,00</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,15</b>  | <b>1,53</b>  | <b>0,61</b> | <b>1,07</b> | <b>5,9</b>              |
| <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                         | 4,90         | 1,30         | 5,36        | 8,27         | 23,74        | 8,12         | 1,68        | 0,46        | 53,8                    |
| Meliponini                                                   | 5,36         | 8,81         | 0,00        | 18,99        | 1,99         | 2,76         | 1,30        | 1,07        | 40,3                    |
| <b>FR (%) pilhadores/hora</b>                                | <b>10,26</b> | <b>10,11</b> | <b>5,36</b> | <b>27,26</b> | <b>25,73</b> | <b>10,87</b> | <b>2,99</b> | <b>1,53</b> | <b>94,1</b>             |

Nos meses de início e final do período de florescimento, a abelha *A. mellifera* foi registrada em alta frequência na ativa coleta de pólen ( $88,0\% \pm 10,13\%$ ), principalmente nos horários de abertura das flores até o esgotamento deste recurso e depois não foram mais observadas. Nos demais meses, quando menos frequentes nos pomares ( $12,0\% \pm 1,48\%$ ), foi observada coletando tanto pólen quanto néctar (Figura 4B).

## 2. Tratamentos de polinização

A Fazenda Água Limpa apresentou uma frutificação natural média do maracujá-amarelo de 25% ( $\pm 18,23\%$ , DP, n=15 dias) enquanto a frutificação manual cruzada foi de 62% ( $\pm 20,89\%$ , DP, n=11 dias) e a eficiência de frutificação de 0,39. A Fazenda Campo Alegre apresentou 23% ( $\pm 25,89\%$ , DP, n=7 dias) de frutificação natural e 63% ( $\pm 37,6\%$ , DP, n=17 dias) e eficiência de frutificação de 0,37. Mas tanto a frutificação natural quanto a frequência dos polinizadores variaram ao longo dos meses (Tabelas 4 e 5). A frutificação natural obtida nas áreas não apresentou correlação significativa com as variáveis taxa de visitas ( $r_s = -0,0889$ ;  $p = 0,7257$ , n=18), riqueza de espécies de polinizadores ( $r_s = -0,0659$ ;  $p = 0,7949$ , n=18) e frequência dos polinizadores ( $r_s = -0,1031$ ,  $p = 0,6840$ , n=18). A eficiência de frutificação também não apresentou correlação significativa com a taxa de visitas dos polinizadores ( $r_s = -0,0397$ ;  $p = 0,8757$ , n=18), com a riqueza de espécies de polinizadores ( $r_s = -0,0495$ ;  $p = 0,8453$ , n=18) e nem com a frequência dos polinizadores ( $r_s = -0,0868$ ;  $p = 0,7321$ , n=18). As análises da frequência relativa e da riqueza dos polinizadores por horário também não mostraram correlação significativa com a frutificação natural ( $r_s = 0,1692$ ,  $p = 0,5804$ , n=13 e  $r_s = 0,2490$ ,  $p = 0,4121$ , n=13, respectivamente).

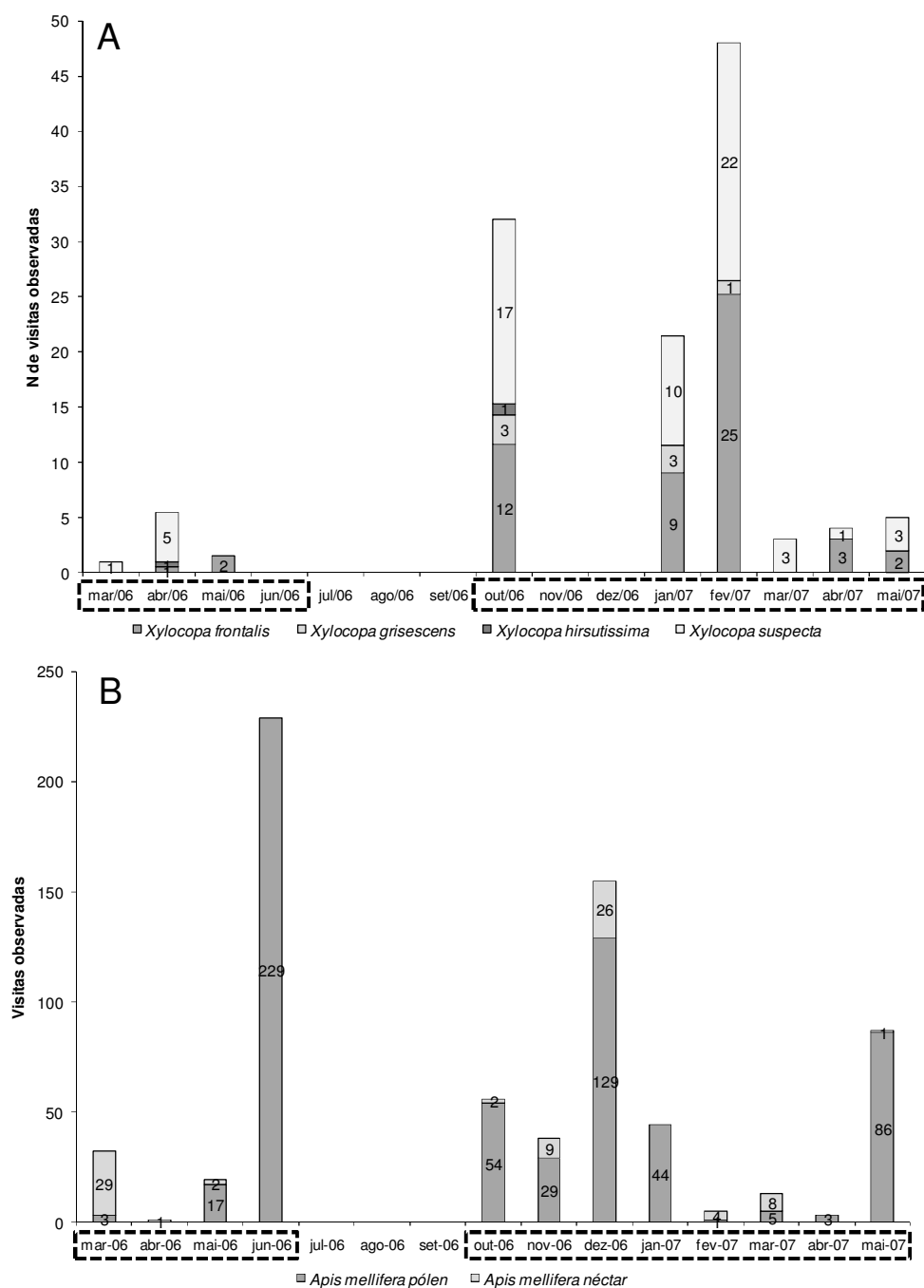


Figura 4 – Frequência de visitas (A) das abelhas *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens*, *X. hirsutissima* e *X. suspecta* e (B) de *Apis mellifera*, bem como o recurso utilizado nas flores do maracujá-amarelo durante os meses de florescimento nas áreas de cultivo da Fazenda Água Limpa e da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG. O número nas barras indica o número médio de visitas observadas por mês. Os meses de florescimento encontram-se em destaque.

Os resultados da frutificação natural do maracujá-amarelo obtidos nos mesmos dias em que os censos em transectos foram realizados são apresentados nas Tabelas 4 e 5. Não houve correlação significativa entre a frutificação natural observada com as variáveis de riqueza, frequência e taxa de visitas dos polinizadores ( $r_s=0,0549$ ,  $p=0,8585$ ,  $n=13$ ;  $-0,0308$ ,  $p=0,9205$ ,  $n=13$  e  $r_s=0,2895$ ,  $p=0,3373$ ,  $n=13$ , respectivamente).

### 3. Disponibilidade de pólen

A quantidade média de pólen disponível para os polinizadores foi estimada em mais de 231.100 grãos-de-pólen por flor no horário de abertura das flores ( $231.148 \pm 89.558$ , média  $\pm$  desvio padrão,  $n=20$  flores). A disponibilidade média deste recurso em ambas as áreas diminuiu gradativamente após a antese, chegando a quase zero na segunda hora após a antese das flores indicando um curto período de recurso disponível para o serviço de polinização deste cultivo. Houve uma leve variação da disponibilidade do recurso entre as áreas, mas apresentaram padrões semelhantes (Figura 5).

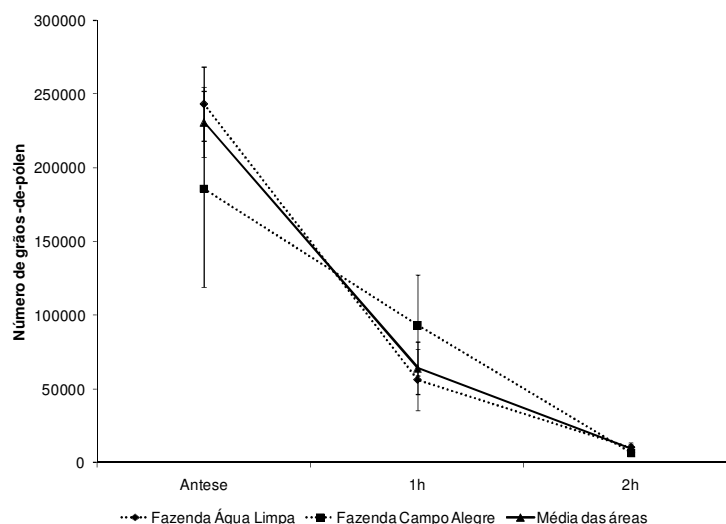


Figura 5 – Disponibilidade média dos grãos-de-pólen por flor ( $\pm$  erro padrão) do maracujá-amarelo a partir do horário de abertura de suas flores nas áreas de cultivo da Fazenda Água Limpa e da Fazenda Campo Alegre, Uberlândia, MG.

#### 4. Estimativa populacional

Na estimativa da população dos polinizadores do maracujá-amarelo realizada em 2005 (estimativa I), foram marcadas 141 abelhas de onze espécies: *A. excellens*, *B. pauloensis*, *C. denudans*, *C. scopipes*, *C. longimana*, *E. flava*, *E. nigrita*, *X. frontalis*, *X. grisescens* e *X. suspecta* (Tabela 6). A abundância dos polinizadores variou entre 19 e 50 indivíduos por dia ( $34,8 \pm 12,69$ , média  $\pm$  desvio padrão,  $n=4$  dias). As espécies mais abundantes foram *X. frontalis* (42,4%) e *X. suspecta* (27,3%) representando quase 70% das capturas realizadas. Foram recapturados 16 indivíduos pertencentes a seis espécies. Neste período foram estimados 273 polinizadores e 157 indivíduos pertencentes somente ao gênero *Xylocopa* (Tabela 6). Os dados não permitiram calcular a estimativa populacional por espécie.

Tabela 6 – Espécies de abelhas polinizadoras do maracujá-amarelo e o número de indivíduos marcados e recapturados na área de cultivo da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG. Estimativa I realizada entre 29 de março a 01 de abril de 2005 e Estimativa II de 22 a 26 de janeiro de 2007. (nc: não coletado; nr: não recapturado; ne: não estimado).

| Espécies marcadas                                            | Estimativa I  |                |                                | Estimativa II |                |                                 |
|--------------------------------------------------------------|---------------|----------------|--------------------------------|---------------|----------------|---------------------------------|
|                                                              | Marcações (n) | Recapturas (n) | Tamanho populacional           | Marcações (n) | Recapturas (n) | Tamanho populacional            |
| <i>Acanthopus excellens</i> Schrottky, 1902                  | 2             | nr             | ne                             | 2             | nr             | ne                              |
| <i>Bombus (Fervidobombus) atratus</i> Franklin, 1913         | 1             | nr             | ne                             | 6             | 2              | ne                              |
| <i>Bombus (Fervidobombus) pauloensis</i> Friese, 1913        | 20            | 5              | ne                             | 35            | 3              | ne                              |
| <i>Centris (Ptilotopus) denudans</i> Lepeletier, 1841        | 4             | nr             | ne                             | nc            | nr             | ne                              |
| <i>Centris (Trachina) longimana</i> Fabricius, 1804          | 3             | 1              | ne                             | 2             | nr             | ne                              |
| <i>Epicharis (Epicharana) flava</i> (Friese, 1900)           | 3             | 1              | ne                             | 5             | nr             | ne                              |
| <i>Eulaema (Apeulaema) nigrita</i> Lepeletier, 1841          | 1             | nr             | ne                             | nc            | nr             | ne                              |
| <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | 59            | 4              | ne                             | 40            | 10             | 48 $\pm$ 37                     |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) grisescens</i> Lepeletier, 1841    | 10            | 2              | ne                             | 6             | 2              | ne                              |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima</i> Maidl, 1912       | nc            | nr             | ne                             | 3             | nr             | ne                              |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | 38            | 3              | ne                             | 56            | 4              | ne                              |
| <i>Xylocopa</i> spp                                          | 107           | 9              | 157 $\pm$ 83                   | 105           | 16             | 216 $\pm$ 217                   |
| <b>Total indivíduos marcados</b>                             | <b>141</b>    | <b>16</b>      | <b>273 <math>\pm</math> 61</b> | <b>155</b>    | <b>21</b>      | <b>394 <math>\pm</math> 405</b> |
| Número de espécies marcadas                                  | 10            | 6              |                                | 9             | 5              |                                 |

Na estimativa II realizada em 2007, foram marcados 155 indivíduos distribuídos em oito espécies de visitantes polinizadores do cultivo. Dentre elas, *B. pauloensis*, *C. scopipes*, *C. longimana*, *E. flava*, *X. frontalis*, *X. grisescens*, *X. hirsutissima* e *X. suspecta*. A abundância dos polinizadores variou de 18 a 40 indivíduos/dia ( $31 \pm 9$ , média  $\pm$  desvio padrão, n=5 dias). Foram recapturados 21 indivíduos pertencentes a cinco espécies de abelhas polinizadoras. A população das abelhas pertencentes ao gênero *Xylocopa* foi estimada em 216 indivíduos e as espécies mais abundantes foram *X. frontalis* e *X. suspecta*, que representaram mais de 60% das capturas realizadas. Os dados permitiram calcular a estimativa populacional apenas para *X. frontalis* com 48 indivíduos. A população de todos os polinizadores capturados (*Xylocopa* spp, *B. pauloensis*, *Centris* spp e *E. flava*) foi de 394 indivíduos (Tabela 6).

Durante o período da segunda estimativa populacional dos polinizadores, o número de flores abertas no transecto linear de 50m foi de  $72 \pm 15,14$  (média  $\pm$  desvio padrão, n=5 dias) e foram estimadas mais de 65.000 flores ( $65.160 \pm 13.628,39$ , n=5 dias) para 0,5ha de área cultivada. A temperatura e a umidade média foram de 27,7°C e 57,8%, respectivamente. A frutificação natural média observada no período foi de 38,7% (n=5 dias) e a frutificação por polinização manual cruzada foi de 55% resultando em uma eficiência de frutificação de 0,70. A chuva que ocorreu no dia 24/1/2007 pode explicar a baixa frutificação natural registrada nesta data (Figura 6).

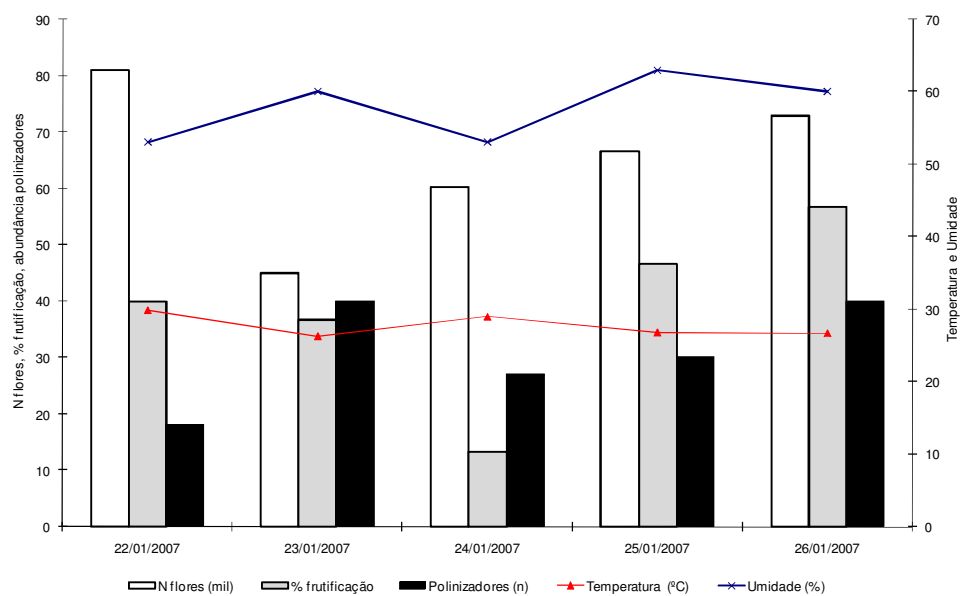


Figura 6 – Quantidade de flores estimada (em milhares) para 0,5ha de área de cultivo do maracujá-amarelo, porcentagem de frutificação natural e abundância dos polinizadores no período de 22 a 26 de janeiro de 2007, da Fazenda Água Limpa, Uberlândia, MG.

## Discussão

Os resultados encontrados mostraram a variação na frequência diária e anual dos polinizadores e pilhadores do maracujá-amarelo durante o período de florescimento do cultivo. Os polinizadores mantiveram menores frequências de visitas em relação aos pilhadores de recurso, sendo que os principais polinizadores, as abelhas do gênero *Xylocopa*, ocorreram desde a abertura das flores, mas não foram observadas em alguns meses de florescimento (Fazenda Água Limpa - junho e setembro, Fazenda Campo Alegre - novembro e dezembro). A riqueza de espécies e a frequência dos polinizadores variaram entre as áreas estudadas e não apresentaram correlação significativa com a frutificação natural do maracujá-amarelo.

O comportamento das espécies de *Xylocopa* durante as visitas a flores do maracujá-amarelo descrito neste estudo corrobora as observações de Sazima & Sazima (1989) e Kavati (1998). Além do comportamento, a grande capacidade de vôo destas abelhas contribui para a sua importância como polinizadoras do maracujá-amarelo. Abelhas de maior porte necessitam de maior ingestão calórica e conseqüentemente acabam visitando um maior número de flores nos cultivos para suprir suas necessidades (Gathmann & Tscharnke 2002) favorecendo uma melhor polinização.

Um estudo avaliando a eficiência das abelhas polinizadoras do maracujá-amarelo apontou que a quantidade de frutos formados aumenta em função do número de visitas das espécies de *Xylocopa*, uma única visita resultou em menos de 10% de frutificação, com duas visitas a eficiência foi superior a 30% e sete visitas resultaram em 82% de formação de frutos (Silva et al. 1999). Outro estudo encontrou que uma única visita de *X. frontalis* foi capaz de formar frutos (7,6% frutificação), mas outras espécies de abelhas potenciais polinizadoras não conseguiram (Melo et al. 2006). Desta forma, um maior número de polinizadores aumentaria a quantidade do pólen depositado no estigma melhorando a qualidade e a quantidade dos frutos e sementes produzidos.

Esta característica é importante para um cultivo auto-incompatível como o maracujá-amarelo, cuja polinização é essencial para a produção de frutos.

Embora menos freqüentes que os pilhadores, os polinizadores foram observados em ambas as áreas de estudo indicando a presença de recursos necessários para a sua manutenção (Delaplane & Mayer 2000, Gathmann & Tschardt 2002). Ainda que as espécies de *Xylocopa* sejam consideradas generalistas quanto à utilização de recursos (Camilo 2003), são abelhas que apresentam atividade de forrageamento durante todo o dia (Camillo & Garófalo 1982, Camillo et al. 1986), necessitando de fontes de néctar e pólen que podem ser obtidos nas próprias áreas de cultivo ou no entorno dos cultivos.

A qualidade das áreas naturais no entorno dos cultivos pode explicar a variação na riqueza de espécies e na freqüência dos polinizadores encontrada entre as áreas de estudo. Uma vez que, a análise da proporção das áreas naturais dentro do raio de 2000m de cobertura a partir do centro de cada cultivo encontrou 42,7% de áreas naturais na Fazenda Água Limpa e de 15,5% para a Fazenda Campo Alegre (dados não mostrados). Tais resultados sugerem a importância da conservação de habitats naturais para a manutenção dos serviços de polinização.

Polinizadores nativos que ocorrem em áreas de cultivo com habitats naturais mais distantes freqüentemente ocorrem em baixa abundância e assim, acabam visitando menos flores (Ricketts 2004). Essas visitas infreqüentes podem representar indivíduos que forrageiam em distâncias pouco comuns dos seus ninhos nas áreas naturais, ou pequenas populações que persistem dentro dos campos agrícolas (Ricketts et al. 2008). Inclusive *A. mellifera* apresentou diminuição na taxa de visitas, embora esta espécie apresente grande área de forrageamento e seja capaz de nidificar em ambientes antropizados, sendo menos sensíveis a quantidade de habitats naturais próximos (Ricketts 2004).

No Rio de Janeiro, as abelhas *X. frontalis* e *X. ordinaria* ocorreram nas áreas de cultivo do maracujá-amarelo, independente da distância dos fragmentos florestais, enquanto que abelhas das tribos Centridini e Euglossini foram observadas apenas nos pomares mais próximos aos fragmentos florestais, sugerindo a maior dependência destes grupos por habitats naturais (Benevides 2006) por apresentarem necessidades mais específicas dos sítios de nidificação, fragrâncias ou óleos florais e outros recursos alimentares (Camargo et. al. 1975).

Os polinizadores do maracujá-amarelo observados nas áreas de estudo, ocorreram com maior frequência uma hora após a abertura das flores, com variação nos horários e meses de ocorrência das espécies. Fato que pode estar associado a maior oferta de néctar do cultivo conforme observado em pomares do estado do Rio de Janeiro, onde a maior atividade dos visitantes florais esteve relacionada ao horário de maior produção de néctar e concentração de solutos totais (até as 14h30min) e quando o volume e a concentração de solutos diminuíram, tornaram-se menos atrativas a visitantes (Benevides 2006). Diferiu do observado por Silva et al. (1999) onde a maior frequência dos polinizadores ocorreu no horário de abertura das flores. Não foi observado um padrão diferenciado na frequência de visitas das espécies de *Xylocopa* nas flores do maracujá-amarelo, sugerindo uma sobreposição na atividade destas abelhas, o que parece não prejudicar o cultivo. Estudos da bionomia de abelhas do gênero *Xylocopa* realizados em Ribeirão Preto, SP, registraram diferentes picos de horário de forrageamento para as espécies *X. frontalis* (entre 13h e 15h), *X. grisescens* (entre 15h e 18h) e *X. suspecta* (entre 15h e 18h, Camillo & Garófalo 1982, Camillo et al. 1986).

Assim como na frequência diária, os meses em que estas abelhas foram observadas nos cultivos do maracujá-amarelo não apresentaram um padrão, provavelmente associado à oferta de flores nas áreas adjacentes ao cultivo. Os

resultados encontrados na região também apresentaram variações com os meses de ocorrência das abelhas *X. grisescens*, *X. frontalis* e *X. suspecta* nos estudos de Camillo & Garófalo (1982) e de Camillo et al. (1986) que podem ser explicadas pelas características da paisagem local (Gathmann & Tschardt 2002) ou por flutuações das populações por motivos diversos (e.g. Roubik 2001, Williams et al. 2001). As visitas de *Xylocopa* spp às flores do maracujá-amarelo também podem ser influenciadas pelas condições climáticas e pela abundância de *A. mellifera* e *Trigona* sp. (Ruggiero 1973, Sazima & Sazima 1989, Silva et al. 1999). Durante o estudo não foram observadas diferenças comportamentais das abelhas *Xylocopa* spp na presença de *A. mellifera*, ao contrário do observado na presença de Meliponini, especialmente com as do gênero *Trigona*. Sendo possível sugerir que a alta frequência de *A. mellifera* possa influenciar no serviço de polinização das espécies de *Xylocopa* por competição e *Trigona* spp por comportamentos agonísticos, atacando e mordendo as pernas de *Xylocopa* spp conforme descrito por Sazima & Sazima (1989).

A diminuição da quantidade de grãos-de-pólen por flor disponível para a polinização do maracujá-amarelo pareceu estar associada ao comportamento de coleta de pólen de *A. mellifera* (Figura 4) que iniciava mesmo antes da abertura completa das flores. Enquanto esta espécie permaneceu mais frequente nos primeiros horários de abertura da flor, os polinizadores, embora presentes, foram mais frequentes somente a partir das 14h, quando a disponibilidade deste recurso para a polinização já estava reduzida. Nas áreas estudadas, o horário de maior frequência de visitas dos polinizadores pareceu ser favorável à polinização do maracujá-amarelo, ocorrendo quando os estigmas das flores já se encontravam flexionados, na mesma altura das anteras.

A abelha melífera, *A. mellifera*, principal espécie utilizada nos manejos de polinização de cultivos, foi classificada como prejudicial aos cultivos do maracujá-

amarelo em outros estudos (e.g. Leone 1990, Malerbo-Souza et al. 1999, Silva et al. 1999, Silva 2005), principalmente por diminuir a disponibilidade de pólen (Leone 1990, Silva et al. 1999, Silva 2005). Mas, o comportamento de coleta de recursos destas abelhas deve ser levado em consideração para tal classificação, pois em determinados períodos do ano, *A. mellifera* foi observada nas flores tentando acessar a câmara de néctar, não afetando negativamente os serviços de polinização (veja também Capítulo 3). Para a região do Triângulo Mineiro, o primeiro período de florescimento do maracujá-amarelo, logo após a estação seca, é esperado uma baixa frutificação por causa da alta frequência desta espécie, na coleta de pólen e porque as plantas silvestres ainda se recuperam do período de seca (Silva 2005).

Para polinizar de forma eficiente um pomar de 1,0ha do maracujá-amarelo, estima-se a necessidade de 350 a 1000 indivíduos polinizadores, dependendo da espécie (Kavati 1998). A população de todos os polinizadores foi estimada nos dois períodos entre 270 e 390 indivíduos/ha, próximos aos valores estimados por Kavati (1998), considerando o tamanho da área cultivada. Ainda que o este estudo represente uma informação pontual, frutificações por polinização natural observadas no período, acima de 38%, encontradas na área são maiores que os valores obtidos em outros locais do Brasil como em São Paulo (3.27%, Camillo 2003), no Ceará (13%, Freitas & Oliveira-Filho 2001) e em áreas do norte do Paraná (12%, Oliveira et al. 2005). Os resultados obtidos indicaram que as populações de *Xylocopa* spp no plantio do maracujá-amarelo da Fazenda Água Limpa, podem realmente ser da ordem de algumas centenas de abelhas. Quantidade que pareceu ser suficiente para garantir a produção natural dos frutos na região em condições economicamente viáveis, acima de 20% para áreas de cerrado (Silva 2005). Dessa forma, atividades de manutenção e manejo, assim como a preservação das áreas naturais de entorno podem garantir a presença destes polinizadores na área.

Embora seja necessário um grande esforço amostral para a obtenção de resultados mais robustos, o método de Jolly-Seber forneceu uma idéia do tamanho populacional dos polinizadores do maracujá-amarelo na área. Talvez a intensificação do período de coleta de dados incluindo mais eventos de marcação durante o período de florescimento do cultivo pudesse fornecer uma estimativa mais robusta.

Os resultados encontrados sugerem que além da maior riqueza das espécies de abelhas polinizadoras (Capítulo 1), a maior frequência desses polinizadores parece estar relacionada à conservação das áreas naturais no entorno dos cultivos. A intensificação da agricultura propiciou a diminuição na proporção das áreas naturais adjacentes às propriedades rurais por diversos motivos, além disso, as formas de manejo indevido têm levado à diminuição dos recursos para os polinizadores (Kremen 2008). Desta forma, as melhores práticas de manejo na agricultura para o uso sustentável e a conservação dos polinizadores são recomendadas. Tais práticas envolvem o controle do uso dos pesticidas, análise do fluxo gênico das culturas transgênicas e da proposição de protocolos de segurança, práticas agrícolas amigáveis com os polinizadores, visando a conservação dos ninhos das abelhas nativas, manejo da paisagem agrícola de modo a manter suas bordas com vegetação nativa a fim de manter recursos aos polinizadores e a diminuição do uso de herbicidas nas culturas agrícolas, já que plantas ruderais fornecem recursos alimentares durante todo o ano (Imperatriz-Fonseca 2004). Embora o uso dos polinizadores ainda não seja evidente nos países em desenvolvimento, as boas práticas de conservação dos polinizadores são recomendadas principalmente para a manutenção dos serviços de polinização em cultivos cujo processo seja essencial para a produção de frutos e sementes.

## Referências Bibliográficas

- Barretos, A.A., Freitas, L. 2007. Atributos florais em um sistema de polinização especializado: *Calathea cylindrica* (Roscoe) K. Schum. (Marantaceae) e abelhas Euglossini. *Revista Brasileira de Botânica* 30: 421-431
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C. R. 1996. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Blackwell Science, Oxford, UK. 1068p.
- Benevides, C.R. 2006. *Biologia Floral e Polinização de Passifloraceae Nativas e Cultivadas na Região Norte Fluminense-RJ*. Dissertação de mestrado.UENF- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 81p.
- Bernacci, L.C., Vitta, F.A., Bakker, Y.V. 2003. Passifloraceae. In.: *Flora fanerogâmica do estado de São Paulo*. Wanderley, M.G.L., Shepherd, G.L., Giulietti, A.M., Melhem, T.S. (Eds.). São Paulo: RiMa/FAPESP. 3: 247-274.
- Bernacci, L.C., Soares-Scott, M.D., Junqueira, N.T.V., Passos, I.L.S., Meletti, L.M.M. 2008. *Passiflora edulis* Sims: the correct taxonomic way to cite the yellow passion fruit (and others colors). *Revista Brasileira de Fruticultura* 30: 566-576.
- Bernardino, A.S., Gaglianone, M.C. 2008. Nest distribution and nesting habitats of *Xylocopa ordinaria* Smith (Hymenoptera, Apidae) in a resting area in the northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 52: 434-440.
- Bruckner, C.H., Casali, V.W.D., Moraes, C.F., Regazzi, A.J., Da Silva, E.A.M. 1995. Self-incompatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Horticulturae* 370: 47-57.
- Bruckner, C.H., Silva, M.M. 2001. Florescimento e frutificação. In *Maracujá tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado*. Bruckner, C.H., Picanço, M.C. (Eds.). Editora Cinco Continentes, Porto Alegre, 472p.
- Buschini, M.L.T. 2006. Species diversity and community structure in trap-nesting bees in Southern Brazil. *Apidologie*, 37: 58-66
- Camargo, J.M.F., Zucchi, R., Sakagami, S.F. 1975. Observations on the bionomics of *Epicharis* (*Epicharana*) *rustica flava* (Oliver) including notes on its parasite *Rhathymus* sp. (Hymenoptera, Apoidea: Anthophoridae). *Studia Entomologica* 18: 1-4.
- Camillo, E., Garófalo, C.A. 1982. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) and *Xylocopa grisea* (Lepeletier) in Southern Brazil. I - Nest construction and biological cycle. *Revista Brasileira de Biologia* 42: 571-582.
- Camillo, E., Garófalo, C.A., Muccillo, G. 1986. On the bionomics of *Xylocopa suspecta* (Moure) in Southern Brazil: nest construction and biological cycle (Hymenoptera, Anthophoridae). *Revista Brasileira Biologia* 46: 383-393.
- Camillo, E. 2003. *Polinização de maracujá*. Holos Editora, Ribeirão Preto. 44p.
- Cervi, C.A. 1997. Passifloraceae do Brasil: estudo do gênero *Passiflora* L., subgênero *Passiflora*. *FontQuerria*, Madrid, 45: 1-92.
- Dafni, A., Kevan, P.G., Husband, B.C. 2005. *Practical Pollination Biology* Cambridge, Canada. Enviroquest Ltd. 590p.
- Delaplane, K.S., Mayer, D.F. 2000. *Crop pollination by bees*. New York, NY: CABI Publishing. 364 p.

- Freitas, B.M., Oliveira-Filho, J.H. 2001. Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas. Fortaleza: BNB, 96p.
- Gathmann, A., Tschardt, T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology* 71: 757-764.
- Hurd, P.J. 1978. An annotated catalog of the carpenter bees (Genus *Xylocopa*) of the Western Hemisphere (Hymenoptera: Anthophoridae). Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Janzen, D.H. 1968. Reproductive behavior in the Passifloraceae and some of its pollinators in Central America. *Behavior* 32: 33-48
- Kavati, R. 1998. Florescimento e frutificação do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). In: Simpósio Brasileiro sobre a cultura do maracujazeiro, Jaboticabal, p. 107-129.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tschardt, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 274: 303-313.
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. Harper publishers, New York, USA. 654p.
- Kremen, C. 2008. Crop pollination services from wild bees. In: (James, R.R., Pitts-Singer, T. eds). *Bee pollination in agricultural ecosystems*. 10-26. Oxford University Press.
- Leone, N.R.F.M. 1990. Polinização do maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) em Araguari, MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 76p.
- Malerbo-Souza, D.T., Soares, P.F.R. 1999. Estudo de uma alternativa para afastar abelha *Apis Mellifera* das flores de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa* Deg.). *Mensagem Doce* 51: 2-7
- Manica, I. 1981. *Fruticultura tropical: 1 Maracujá*. São Paulo, Agronômica Ceres. 160p.
- Meletti, L.M.M., Bruckner, C.H. 2001. Melhoramento genético. In: Bruckner, C.H., Picanço, M.C. (Eds) *Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria e mercado*. Porto Alegre. Cinco Continentes. p. 345-385.
- Melo, G.A.R., Varassin, I.G., Vieira, A.O.S., Menezes JR, A.O., Löwenberg-Neto, P., Bressan, D.F., Elbl, P.M., Moreira, P.A., Oliveira, P.C., Zanon, M.M.F., Androcioni, H.G., Ximenes, D.S.M., Cervigne, N.S., Prado, J. , Ide, A.K. 2006. Polinizadores de maracujás no Paraná. In: *Anais do VII Encontro sobre Abelhas, Ribeirão Preto, CD-ROM*.
- Moure, J.S., Urban, D. Melo, G.A.R. 2007. Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region. SBE (Sociedade Brasileira de Entomologia), Curitiba.
- Muschner, V.C., Lorenz, A.P., Cervi, A.C., Bonatto, S.L., Souza-Chies, T.I., Salzano, F.M., Freitas, L.B. 2003. A first molecular phylogenetic analysis of *Passiflora* (Passifloraceae). *American Journal of Botany* 90: 1229-1238.
- Oliveira, P.C., Vieira, A.O.S., Cervigne, N.S., Bressan, D.F., Menezes JR, A.O. 2005. Biologia reprodutiva de populações de *Passiflora edulis*. *Anais 56º Congresso Nacional de Botânica*.

- Rêgo, M.M., Rêgo, E.R. Bruckner, C.H., Silva, E.A.M., Finger, F.L., Pereira, K.J.C. 2000. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses. *Theoretical and Applied Genetics* 101: 685-689.
- Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18: 1262-1271.
- Ricketts, T.H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Bogdanski, A., Gemmil-Herren, B., Greenleaf, S.S., Klein, A.M., Mayfield, M.M., Morandin, L.A., Ochieng, A., Viana, B.F. 2008. Landscape effects on crop pollinations services: are there general patterns? *Ecology Letters*, 11: 499-515.
- Rosa, R., Lima, S.C., Assunção, W.L. 1991. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). *Sociedade & Natureza*, 3: 91-108.
- Roubik, D. 2001. Ups and downs in pollinator populations: when is there a decline? *Conservation Ecology* 5, 2
- Ruggiero, C. 1973. Estudos sobre floração e polinização do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). Tese de doutorado. FCAV. Jaboticabal. 92p.
- Ruggiero, C. 1980. Cultura do maracujazeiro. Jaboticabal, UNESP. 147p.
- Ruiz, T., Arroyo, K.M.T. 1978. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica* 10: 221-230
- Sazima, M., Sazima, I. 1978. Bat pollination of the passion flower, *Passiflora mucronata*, in southeastern Brazil. *Biotropica* 10: 100-109.
- Sazima, I., Sazima, M. 1989. Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e conseqüências para a polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de Entomologia* 33: 109-118.
- Silva, A.C., São José, A.R. 1994. Classificação botânica do maracujazeiro (In Maracujá produção e mercado São José, A.R. Ed). Universidade Estadual do sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista. p 1-5.
- Silva, J.R. 2005. Relatório A cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) na Região do Triângulo Mineiro. Aspectos práticos. 60p.
- Silva, M.M., Bruckner, C.H., Picanço, M, Molina-Rugama, A.J. 1999. Número floral, clima, densidad poblacional de *Xylocopa* spp (Hymenoptera: Anthophoridae) y polinización del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Revista de Biología Tropical* 47: 711-718.
- Silveira, F.A., G.A.R. Melo, and E.A.B. Almeida. 2002. Abelhas Brasileiras: Sistemática e Identificação. F.A. Silveira, Belo Horizonte, Brazil.
- Souza, V. C., Lorenzi, H. 2005. Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. Botânica Sistemática.
- Varassin, I.G. 2005. Polinização em espécies cultivadas de maracujá e conservação da fauna nativa. In Resumos do 56º Congresso Nacional de Botânica). SBB/UFPR/UEPG, Curitiba, CD-ROM 3p.
- Williams, N.M., Minckley, R.L., Silveira, F.A. 2001. Variation in native bee faunas and its implications for detecting communities changes. *Conservation Ecology* 5,7
- Zar, J. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 663p.

## **CAPÍTULO 3**

### **A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS NATURAIS DE CERRADO NA PRODUTIVIDADE DO MARACUJÁ-AMARELO NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

### **CAPÍTULO 3**

#### **A INFLUÊNCIA DAS ÁREAS NATURAIS DE CERRADO NA PRODUTIVIDADE DO MARACUJÁ-AMARELO NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

##### **Introdução**

A destruição e a fragmentação de habitats causadas pela intensificação agrícola têm sido reconhecidas como as principais causa do declínio de biodiversidade local e global (Debinsky & Holt 2000). Essa perda da biodiversidade pode afetar as interações planta-animal e em particular as interações planta-polinizador (Steffan-Dewenter & Tschantke 2002, Tschantke & Brandl 2004, Steffan-Dewenter & Westphal 2008). Tais alterações ambientais podem levar a diminuição da população dos polinizadores (e.g. Kevan & Imperatriz-Fonseca 2006) e conseqüentemente afetar a reprodução das plantas nativas (Aguilar et al. 2006) e cultivadas (Ricketts et al. 2008). Tanto plantas quanto polinizadores apresentam características biológicas particulares que resultam em diferentes respostas ecológicas sobre os efeitos da fragmentação de hábitat (Waser et al. 1996, Aizen & Feisinger 2003, Geenleaf & Kremen 2006a).

Uma revisão recente aponta que *ca.* 35% do volume da produção agrícola e *ca.* 70% dos maiores cultivos mundiais dependem da polinização feita por animais (Klein et al. 2007). Além disso, há forte evidência da diminuição da riqueza de espécies e da taxa de visitação nos cultivos com o aumento da distância do habitat dos polinizadores (Ricketts et al. 2008) reduzindo a qualidade e a quantidade da produção agrícola. Outros estudos indicam que a composição das comunidades de abelhas nativas que polinizam cultivos é influenciada pela matriz de entorno (Kremen et al. 2002, 2004, Klein et al. 2003, Ricketts 2004, Morandin & Winston 2005, Greenleaf & Kremen 2006a, Steffan-Dewenter & Westphal 2008). O aumento da produtividade do cultivo está associado à abundância e a diversidade das comunidades de abelhas nativas, pela eficiência e

complementação na deposição do pólen das diferentes espécies nativas como observado no cultivo do girassol (Greenleaf & Kremen 2006b, Kremen 2008).

Nas últimas décadas registrou-se um aumento em número e em área das variedades de cultivos que necessitam dos serviços de polinização para a produção de frutos ou sementes (Aizen et al. 2008). Este fato, associado ao declínio das abelhas manejadas para este fim registrado em outros países (e.g. USDA National Agricultural Statistics Service 2006) e a evidência de declínio das abelhas nativas por causa do uso dos pesticidas, perdas de habitat e degradação ambiental (e.g. Allen-Wardell et al. 1998, Steffan-Dewenter & Tschanrtke 1999, Ricketts 2004, Kremen et al. 2007, Taki & Kevan 2007, Steffan-Dewenter & Westphal 2008) apontam as necessidades de avaliar o impacto da perda de polinizadores (Klein et al 2007, Kremen et al. 2007) e ressaltam a importância das práticas de manejo no incremento da produção, mas também a conservação das espécies de polinizadores nativos.

Na tentativa de explicar como as abelhas respondem a variação ambiental entre áreas agrícolas em uma região de cerrado, foi utilizado o cultivo do maracujá-amarelo, *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deneger, que apresenta as características enumeradas por Ghazoul (2005) de um cultivo em risco de produtividade pela diminuição dos seus polinizadores nativos. Tais características envolvem um sistema reprodutivo auto-incompatível, flores grandes (em torno de 7,0 cm de diâmetro) que necessitam de polinizadores específicos e de grande porte para a formação dos frutos. Abelhas carpinteiras e de hábito solitário do gênero *Xylocopa* são os polinizadores mais efetivos desse cultivo (Camillo 2003). O maracujá é uma das culturas em que a prática da polinização manual é necessária para a produção de frutos em vários locais do Brasil (Camillo 2003, Freitas & Oliveira-Filho 2001) e do mundo (Klein et al. 2007) pela carência dos seus polinizadores. Embora não seja um dos grandes cultivos mundiais em questão de volume, possui grande importância local, uma vez que constitui uma das

fontes de subsistência dos pequenos produtores na região do Triângulo Mineiro. Tal fato é explicado principalmente pela produção de suco a partir dos seus frutos, já que a região é um pólo industrial de processamento do suco do maracujá-amarelo (Silva 2005).

A região de estudo está inserida no bioma Cerrado, o segundo maior em extensão no Brasil, formado por um gradiente de fisionomias de vegetação, incluindo desde campos abertos a florestas (Oliveira-Filho & Ratter 2002). Sua cobertura original envolvia 25% do território brasileiro e hoje está entre as 25 áreas do mundo descritas como *hot-spots* de biodiversidade (Myers et al. 2000). Sua inclusão neste status constitui uma forma de alerta para estabelecer políticas adequadas para sua conservação, devido à ameaça a sua riqueza de espécies e a diversidade de habitats. A principal causa da destruição é resultante principalmente do intenso desmatamento para fins agropecuários que já atingiu 80% da área original (Myers et al. 2000). A região do Triângulo Mineiro é apontada como uma das áreas de maior impacto humano sobre o cerrado, com estimativas de até 92% de degradação (Cavalcante & Joly 2002).

Em estudos realizados na região, foram observadas 17 espécies de abelhas polinizadoras do cultivo, variável que explicou a produtividade natural dos frutos ainda sustentável nestes pomares (Capítulo 1). O valor da frutificação natural encontrado foi maior do que o registrado em outros locais do Brasil como no Estado de São Paulo (Carvalho & Teófilo Sobrinho 1973, Grisi Jr 1973, Ruggiero 1973, Yamashiro 1981, Sazima & Sazima 1989), Paraná (Oliveira et al. 2005) e Bahia (Bos et al. 2007). Sendo assim, o objetivo do estudo foi verificar se existe relação entre a proporção de áreas naturais de cerrado no entorno dos cultivos do maracujá-amarelo e a riqueza/frequência de espécies de polinizadores encontrada na região do Triângulo Mineiro. E conseqüentemente, verificar se esses fatores se relacionam com a polinização e frutificação natural do cultivo. Além disso, buscou-se complementar as informações

acerca da limitação de pólen do cultivo e propor atividades de manejo e conservação dos polinizadores.

## **Material e métodos**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado entre os dias 09 de janeiro e 13 de fevereiro de 2008, durante o período de intensa floração do maracujá-amarelo, em oito áreas de cultivo comercial (A1- 18°55'12.1"S 48°24'19.1"W, 814m; A2 - 18°51'29.4"S 48°28'43.0"W, 805m; A3 - 18°43'09.9"S 48°08'01.8"W, 878m; A4 - 18°46'13.5"S 48°00'43.9"W, 950m; A5 - 19°10'07.3"S 47°56'46.9"W, 871m; A6 - 18°46'29.0"S 48°03'21.6"W, 906m; A7 - 18°37'02.5"S 48°16'00.9"W, 887m; A8 - 18°44'35.1"S 47°59'18.7"W, 929m) nos municípios de Araguari e Uberlândia, região do Triângulo Mineiro, sudeste do Brasil. A distância linear mínima entre as áreas foi de 4,5km e a máxima de 65,6km. Todas as áreas receberam assistência técnica da empresa Kraft Alimentos e tanto a procedência das mudas (mesma variabilidade genética), quanto os tratos culturais foram semelhantes (H.J. de Oliveira, comunicação pessoal). Os pomares possuíam entre 1,0 e 2,5ha de área cultivada no sistema de produção do tipo espaldeira e o cultivo do maracujá-amarelo não constituía a única fonte de renda do produtor.

### **1. Riqueza e frequência dos visitantes florais**

Todas as observações foram realizadas entre 13h e 17:30h, completando-se o mínimo de três horas de observação em cada área de estudo em um único dia. Os visitantes florais foram observados nos pomares do maracujá-amarelo pelo método do censo em transectos (Dafni et al. 2005), no qual dois transectos de 50m foram estabelecidos em locais padronizados no cultivo, sendo um localizado próximo à borda do pomar e o outro no centro. Cada transecto foi percorrido durante 10 minutos de cada

hora, preferencialmente os iniciais. Durante o percurso foram quantificadas e vistoriadas as flores em antese e apenas os visitantes em contato com a flor foram considerados e registrados. O recurso utilizado pelos visitantes também foi registrado. As abelhas observadas em mais de uma flor durante o mesmo percurso foram contadas apenas uma vez. A frequência dos visitantes foi considerada como o número médio de visitas observado durante o período. E a taxa de visitação dos polinizadores, como o número de visitas de abelhas pelo número de flores abertas pelo tempo de observação (*sensu* Winfree et al. 2007). A temperatura e a umidade foram medidas com um termo-higrômetro antes do início de cada censo.

A identificação da maioria das abelhas pôde ser feita de forma rápida durante as observações nas flores. Porém, aquelas que não puderam ser identificadas no ato da visita foram coletadas e preparadas para posterior identificação. Os exemplares de cada espécie foram montados a seco e incorporados a Coleção Entomológica da Universidade Federal de Uberlândia.

## **2. Polinização e formação de frutos**

Para avaliar a frutificação natural das áreas de estudo, 30 flores em antese foram selecionadas ao acaso, marcadas com fitas coloridas amarradas ao pedicelo das flores e o desenvolvimento do fruto foi acompanhado até a maturação. Os tratamentos de polinização manual cruzada foram realizados no mesmo dia em outras 30 flores abertas. As plantas doadoras de pólen foram de indivíduos diferentes do mesmo pomar. Procurou-se parear os tratamentos de polinização em flores da mesma planta, com altura e insolação semelhante e também distribuir os tratamentos em várias plantas no pomar.

A frutificação inicial foi observada 15 dias após os tratamentos de polinização e a frutificação final, após 55 dias, quando os frutos resultantes foram coletados e mensurados. A partir destes dados foi possível calcular a eficiência de frutificação do

cultivo (*sensu* Ruiz & Arroyo 1978) obtida pela razão dos frutos resultantes da polinização natural pelos frutos da polinização manual cruzada. O aborto dos frutos foi quantificado pela proporção de perda dos frutos entre a frutificação inicial e final.

A qualidade dos frutos formados entre os tratamentos foi avaliada de acordo com parâmetros como massa (total, da casca e da polpa), concentração de açúcares totais (°Brix), número de sementes e o tamanho do fruto (comprimento e largura). A porcentagem de polpa foi determinada pela fórmula utilizada por Leone (1990): % polpa = (massa total – massa da casca)/massa total.

### **3. Disponibilidade de pólen**

A quantidade de pólen disponível para o polinizador ao longo da antese foi avaliada por meio da contagem dos grãos-de-pólen em câmara de Neubauer. Flores deixadas em exposição para os visitantes florais, distribuídas ao longo do pomar, foram apenas marcadas (n=5 flores por área) e uma antera de cada flor foi coletada em cada hora a partir da antese. O material foi armazenado em álcool 70% até o procedimento de contagem dos grãos-de-pólen no laboratório.

### **4. Análise das áreas naturais**

No sistema de estudo utilizado, os remanescentes naturais constituem pequenas manchas de formato irregular e freqüentemente formam estreitos corredores de vegetação junto aos corpos d'água. Por isso utilizou-se a proporção das áreas no entorno dos cultivos e não somente as variáveis distância e/ou tamanho dos fragmentos. A cobertura de área natural foi analisada como a proporção das áreas de vegetação natural de cerrado e foi obtida dentro de raios de distância de 2.000m, 1.000m, 500m e 250m a partir do centro de cada pomar avaliado. A cobertura das áreas naturais no entorno dos cultivos do maracujá-amarelo foi estimada com o uso de imagens de satélites. A posição

geográfica de cada pomar foi obtida com um GPS e dessa forma obteve-se a sua respectiva localização nas imagens. O maior raio de análise foi escolhido predizendo uma distância média de vôo de abelhas do gênero *Xylocopa* (Greenleaf et al. 2007).

## **5. Análises estatísticas**

O teste t foi utilizado para avaliar a diferença entre a riqueza de espécies visitantes, riqueza de espécies dos polinizadores e frequência de visitas entre os transectos de borda e do centro do cultivo. Para analisar a formação de frutos inicial e final entre os tratamentos de polinização manual cruzada e a polinização natural utilizou-se ANOVA. O teste t pareado foi usado para avaliar a formação de frutos entre os tratamentos de polinização por área e o teste t para comparar a qualidade dos frutos por tratamentos de polinização. Para analisar diferenças entre médias de aborto dos frutos entre os tratamentos foi usado o teste  $\chi^2$ . A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov Smirnov (Zar 1999).

De acordo com resultados prévios, foi possível prognosticar que a variável riqueza de polinizadores fosse preditora das variáveis de frutificação natural. Então, a regressão linear simples foi utilizada para verificar se houve relação entre as variáveis dependentes relacionadas à frutificação natural (inicial, final e eficiência de frutificação) e as variáveis independentes relacionadas a polinizadores (riqueza de espécies, frequência e taxa de visitação). O mesmo teste foi utilizado para verificar interações entre a proporção das áreas naturais e as variáveis dependentes de riqueza, frequência e taxa de visitação dos polinizadores, frutificação natural dos cultivos e o número de sementes formadas em frutos polinizados naturalmente. A relação entre essas variáveis indicaria se a riqueza dos polinizadores e a frutificação natural do maracujá-amarelo variou com a proporção das áreas naturais de entorno.

## Resultados

### 1. Riqueza e frequência dos visitantes florais

As áreas de estudo apresentaram de zero a 48,6% de cobertura de área natural de entorno dos pomares de maracujá-amarelo, conforme o raio de cobertura analisado (Tabela 1). A proporção das áreas naturais diminuiu na medida em que se reduziu o raio da área de cobertura analisada no entorno dos cultivos.

Foi observado um total de 250 visitas de abelhas nativas nas flores do maracujá-amarelo e 716 visitas de *Apis mellifera* durante 26,3 horas de amostragem (n=8 áreas). As abelhas nativas representaram pelo menos 10 espécies, das quais oito foram consideradas polinizadores do cultivo. As espécies observadas nas flores foram listadas na Tabela 2. A riqueza e a frequência dos visitantes florais do maracujá-amarelo variaram entre as áreas e entre o centro e a borda do cultivo (Tabelas 1 e 2). Por causa da semelhança das abelhas da tribo Meliponina e da dificuldade da rápida identificação das espécies em campo, os seus representantes (e.g. *Trigona hyalinata*, *T. spinipes*, *Trigona* sp., *Paratrigona lineata*, *Scaptotrigona* sp.) foram agrupados no único táxon Meliponina. Além disso, seus representantes apresentam os mesmos comportamentos ao visitar as flores.

Abelhas polinizadoras foram observadas em todas as áreas de cultivo, mas a frequência de suas visitas nas flores do maracujá-amarelo não ultrapassou 20% ( $7,70\% \pm 5,33\%$ , média  $\pm$  desvio padrão, n=8 áreas), enquanto que os pilhadores apresentaram frequências superiores a 80% ( $92,29\% \pm 5,33\%$ , n= 8 áreas) em todas as áreas estudadas. As espécies mais frequentes que ocorreram em todas as áreas foram *Apis mellifera* e *Trigona* sp., ambas pilhadoras de pólen e néctar, seguidas de *Xylocopa suspecta*, um dos polinizadores efetivos deste cultivo (Tabela 2).

Tabela 1 – Características das áreas de estudo e a riqueza de espécies das abelhas visitantes de flores do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007.

| Características                           | Áreas de estudo |       |       |       |       |       |       |      |
|-------------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                           | A1              | A2    | A3    | A4    | A5    | A6    | A7    | A8   |
| Tamanho do pomar (ha)                     | 2,3             | 1,0   | 2,0   | 1,5   | 1,0   | 2,5   | 1,0   | 1,5  |
| Número de flores abertas                  | 153,0           | 327,0 | 141,8 | 447,8 | 128,3 | 195,3 | 138,0 | 67,0 |
| Temperatura média (°C)                    | 29,3            | 33,5  | 29,8  | 28,5  | 24,5  | 25,8  | 27,3  | 29,0 |
| Umidade média (%)                         | 54,0            | 48,5  | 60,3  | 59,0  | 70,5  | 70,8  | 69,5  | 60,8 |
| Cobertura de áreas naturais (%)           |                 |       |       |       |       |       |       |      |
| 2000m                                     | 48,6            | 43,8  | 48,6  | 18,8  | 36,5  | 30,9  | 41,7  | 11,1 |
| 1000m                                     | 24,6            | 18,8  | 22,4  | 7,8   | 27,5  | 9,5   | 12,2  | 11,1 |
| 500m                                      | 13,5            | 13,0  | 12,5  | 5,2   | 21,5  | 7,1   | 8,1   | 2,5  |
| 250m                                      | 4,9             | 8,0   | 5,0   | 2,6   | 9,6   | 4,8   | 7,0   | 0,0  |
| Riqueza de espécies de abelhas            |                 |       |       |       |       |       |       |      |
| visitantes florais                        | 5               | 4     | 7     | 4     | 4     | 6     | 5     | 7    |
| polinizadores                             | 3               | 2     | 4     | 2     | 2     | 4     | 3     | 4    |
| Taxa de visitas dos polinizadores         | 0,03            | 0,01  | 0,07  | 0,01  | 0,02  | 0,02  | 0,03  | 0,11 |
| Borda do cultivo                          |                 |       |       |       |       |       |       |      |
| riqueza de espécies de visitantes florais | 5               | 2     | 5     | 4     | 4     | 4     | 5     | 5    |
| frequência absoluta visitantes            | 99              | 38    | 92    | 50    | 34    | 107   | 153   | 34   |
| frequência absoluta polinizadores         | 14              | 0     | 6     | 6     | 2     | 2     | 4     | 4    |
| Centro do cultivo                         |                 |       |       |       |       |       |       |      |
| riqueza de espécies de visitantes florais | 4               | 4     | 6     | 2     | 3     | 4     | 3     | 5    |
| frequência absoluta visitantes            | 49              | 30    | 56    | 18    | 20    | 97    | 77    | 22   |
| frequência absoluta polinizadores         | 0               | 6     | 7     | 2     | 1     | 2     | 1     | 6    |

Tabela 2 – Frequências relativa (%) e absoluta, entre parênteses, das abelhas visitantes das flores do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007.

| Frequências relativa (%) e absoluta                          | Áreas de estudo    |                   |                    |                   |                   |                    |                    |                   |
|--------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|                                                              | A1                 | A2                | A3                 | A4                | A5                | A6                 | A7                 | A8                |
| <b>Polinizadores</b>                                         | <b>4,73 (7)</b>    | <b>8,82 (6)</b>   | <b>8,78 (13)</b>   | <b>11,76 (8)</b>  | <b>5,56 (3)</b>   | <b>1,95 (4)</b>    | <b>2,17 (5)</b>    | <b>17,86 (10)</b> |
| <i>Acanthopus excellens</i> Schrottky, 1902                  | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)              | 1,79 (1)          |
| <i>Bombus (Fervidobombus) atratus</i> Franklin, 1913         | 0,68 (1)           | 0 (0)             | 1,35 (2)           | 0 (0)             | 1,85 (1)          | 0,49 (1)           | 0 (0)              | 0 (0)             |
| <i>Centris (Ptilotopus) scopipes</i> Friese, 1899            | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)              | 1,79 (1)          |
| <i>Epicharis (Epicharana) flava</i> (Friese, 1900)           | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)             | 0 (0)              | 0,43 (1)           | 1,79 (1)          |
| <i>Oxaea flavescens</i> Klug, 1807                           | 0 (0)              | 0 (0)             | 0,68 (1)           | 0 (0)             | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)              | 0 (0)             |
| <i>Xylocopa (Megaxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)     | 0,68 (1)           | 4,41 (3)          | 4,05 (6)           | 1,47 (1)          | 0 (0)             | 0,49 (1)           | 0,87 (2)           | 5,36 (3)          |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) grisecens</i> Lepeletier, 1841     | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)             | 0 (0)             | 0,49 (1)           | 0 (0)              | 0 (0)             |
| <i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988 | 3,38 (5)           | 4,41 (3)          | 2,70 (4)           | 10,29 (7)         | 3,70 (2)          | 0,49 (1)           | 0,87 (2)           | 7,14 (4)          |
| <b>Pilhadores</b>                                            | <b>95,27 (141)</b> | <b>91,18 (62)</b> | <b>91,22 (135)</b> | <b>88,24 (60)</b> | <b>94,44 (51)</b> | <b>98,04 (200)</b> | <b>97,83 (225)</b> | <b>82,14 (46)</b> |
| <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758                         | 78,38 (116)        | 69,12 (47)        | 53,38 (79)         | 86,76 (59)        | 62,96 (34)        | 83,33 (170)        | 87,83 (202)        | 33,93 (19)        |
| <i>Augochloropsis</i> sp.                                    | 0 (0)              | 0 (0)             | 0,68 (1)           | 0 (0)             | 0 (0)             | 0 (0)              | 0 (0)              | 0 (0)             |
| Meliponini*                                                  | 16,89 (25)         | 22,06 (15)        | 37,16 (55)         | 1,47 (1)          | 31,48 (17)        | 14,71 (30)         | 10,00 (23)         | 48,21 (27)        |

\*Incluem as espécies *Trigona hyalinata*, *T. spinipes*, *Trigona* sp., *Paratrigona lineata*, *Scaptotrigona* sp.

A abelha *A. mellifera* foi observada nas flores do maracujá-amarelo com maior frequência na coleta de néctar (70% das visitas) do que pólen (30% das visitas). Em apenas uma das áreas de estudo (A6) a espécie foi observada em coleta intensiva de pólen (100% das visitas registradas). Houve o esgotamento deste recurso em menos de uma hora após a antese (veja também Figura 3b), prejudicando o serviço de polinização natural e dificultando também a coleta de pólen para o processo da polinização manual realizada pelo produtor.

A riqueza das espécies de visitantes florais do maracujá-amarelo não diferiu significativamente entre os transectos da borda e do centro do cultivo ( $t=0,8214$ ,  $gl=14$ ,  $p=0,2126$ , Tabela 1). Já a sua frequência relativa foi significativamente maior na borda do cultivo ( $62,6\% \pm 6,6\%$ , média  $\pm$  desvio padrão) do que no centro ( $37,4\% \pm 6,6\%$ ) ( $t=7,6543$ ,  $gl=14$ ,  $p<0,0001$ ). Os valores não foram significativos para a frequência de visitas dos polinizadores ( $t=0,9054$ ,  $gl=14$ ,  $p=0,1788$ , Tabela 1).

## **2. Polinização e formação de frutos**

A frutificação resultante dos tratamentos de polinização manual cruzada foi significativamente superior aos valores encontrados para polinização natural em todas as áreas (Tabela 3), tanto para os resultados de frutificação inicial quanto para a frutificação final (análise ANOVA  $F=58,0042$ ;  $gl=14$ ;  $p<0,0001$  e  $F=56,0516$ ;  $gl=14$ ;  $p<0,0001$ , respectivamente) (Figura 1). Os frutos provenientes do tratamento de polinização manual cruzada foram maiores e contiveram maior número de sementes do que os formados por polinização natural, além disso, a qualidade dos frutos diferiu significativamente em todas as características avaliadas entre os tratamentos de polinização (Tabela 4), exceto pela concentração de açúcares totais ( $t=-0,4229$ ;  $gl=109$ ;  $p=0,6732$ ).

Não houve diferença significativa entre a frutificação inicial e final no tratamento de polinização manual cruzada (análise ANOVA  $F=3,4012$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0835$ ) e nem para polinização natural ( $F=0,6114$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,5471$ ). A eficiência de frutificação das áreas variou de 0,0 a 0,64, mas não diferiu significativamente entre os períodos de frutificação inicial e final ( $F=0,0693$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,9985$ ). A frutificação e a eficiência de produção de frutos entre as áreas não foram analisadas devido ao baixo número de flores utilizado em cada área ( $n=30$  flores). A baixa frutificação obtida nos tratamentos de polinização manual cruzada em algumas áreas pode ser explicada pela chuva que ocorreu após os tratamentos (A1 e A5) e pela maturação antecipada de alguns frutos ocasionando a queda dos mesmos (A3 e A7).

Tabela 3 – Frutificação inicial, frutificação final e perda de frutos do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. PC- polinização cruzada (%), PN- polinização natural (%), EF- eficiência de frutificação ( $n=30$  flores/tratamento/área).

|                      |        | Áreas |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      |        | A1    | A2   | A3   | A4   | A5   | A6   | A7   | A8   |
| Frutificação inicial | EF     | 0,24  | 0,19 | 0,35 | 0,07 | 0,00 | 0,12 | 0,25 | 0,64 |
|                      | PN (%) | 14,3  | 15,2 | 23,3 | 6,9  | 0,0  | 10,7 | 13,3 | 53,6 |
|                      | PC (%) | 60,7  | 78,8 | 66,7 | 93,3 | 70,0 | 86,2 | 53,6 | 83,3 |
| Frutificação final   | EF     | 0,27  | 0,17 | 0,23 | 0,04 | 0,00 | 0,09 | 0,37 | 0,64 |
|                      | PN (%) | 14,3  | 12,1 | 13,3 | 3,4  | 0,0  | 7,1  | 13,3 | 32,1 |
|                      | PC (%) | 53,6  | 72,7 | 56,7 | 83,3 | 56,7 | 75,9 | 35,7 | 50   |
| Aborto               | PN (%) | 3,1   | 10,0 | 3,5  | 0,0  | 3,6  | 0,0  | 21,5 | 0,0  |
|                      | PC (%) | 6,1   | 10,0 | 10,0 | 13,3 | 10,3 | 17,9 | 33,3 | 0,0  |

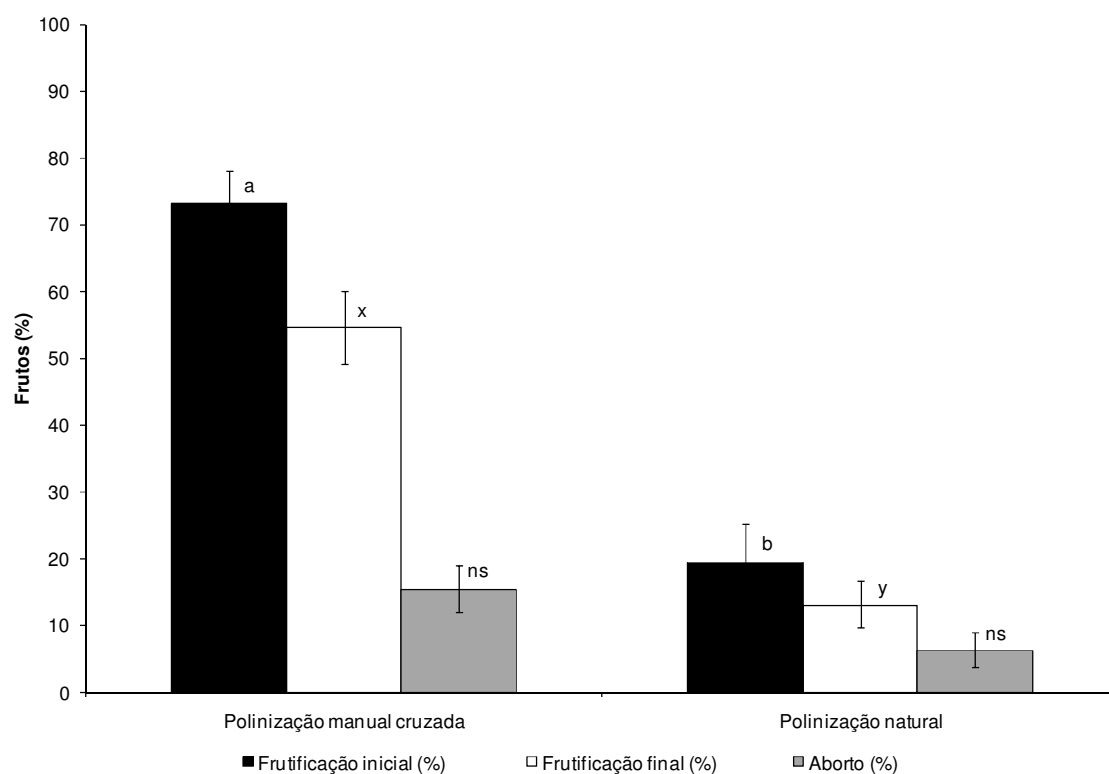


Figura 1 – Porcentagem média de frutificação inicial, frutificação final e aborto em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. As barras indicam o erro padrão da média, as letras diferentes ao lado das barras indicam diferença significativa entre os tratamentos e ns - não significativo.

Tabela 4 – Características dos frutos resultantes dos tratamentos de polinização manual cruzada (PMC) e polinização natural (PN) do maracujá-amarelo em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007.

| Características dos frutos      | PMC (n=88 frutos)<br>Média ± DP | PN (n=28 frutos)<br>Média ± DP | Análise estatística<br>teste t; gl; p |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Massa total (g)</b>          | 252,8 ± 97,31                   | 164,6 ± 52,38                  | t=6,1473; gl=83; p<0,0001             |
| <b>Massa casca (g)</b>          | 146,3 ± 57,72                   | 102,0 ± 33,08                  | t=5,0501; gl=81; p<0,0001             |
| <b>Massa polpa (g)</b>          | 101,7 ± 40,93                   | 61,3 ± 23,94                   | t=6,4229; gl=1; p<0,0001              |
| <b>Polpa (%)</b>                | 41,7 ± 6,45                     | 37,6 ± 6,60                    | t=2,9056; gl=114; p=0,0044            |
| <b>Número sementes</b>          | 402,4 ± 118,23                  | 222,5 ± 104,81                 | t=7,1991; gl=114; p<0,0001            |
| <b>Açúcares totais (° Brix)</b> | 11,1 ± 2,52                     | 11,4 ± 2,93                    | t=-4229; gl=109; p=0,6732             |
| <b>Comprimento (cm)</b>         | 97,4 ± 17,18                    | 82,9 ± 11,62                   | t=5,0727; gl=67; p<0,0001             |
| <b>Largura (cm)</b>             | 81,3 ± 9,10                     | 72,1 ± 7,30                    | t=4,8709; gl=114; p<0,0001            |

A média geral dos frutos abortados foi de  $9,4\% \pm 8,93\%$  ( $n=8$  áreas). Embora a média de aborto dos frutos encontrada tenha sido maior no tratamento de polinização manual cruzada ( $13,5\% \pm 8,8\%$ ,  $n=8$  áreas) do que para a polinização natural observada ( $5,2\% \pm 7,4\%$ ,  $n=8$  áreas), não houve diferença significativa entre os tratamentos ( $\chi^2=3,684$ ,  $gl=1$ ,  $p=0,0914$ ) (Figura 1).

A análise de regressão mostrou que houve uma relação significativa entre a maior riqueza de espécies de polinizadores do maracujá-amarelo com a maior frutificação natural inicial e final do cultivo ( $F_{1,6}=10,2146$ ,  $r^2=0,6299$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0189$ ;  $n=8$  e  $F_{1,6}=6,7289$ ,  $r^2=0,5286$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0409$ ;  $n=8$ , respectivamente, Figura 2a,b), assim como com a eficiência da frutificação natural inicial ( $F_{1,6}=10,1090$ ,  $r^2=0,6275$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0191$ ;  $n=8$ ) (Figura 2c), mas não houve associação significativa com a eficiência de frutificação natural final ( $F_{1,6}=5,4978$ ,  $r^2=0,4781$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0575$ ;  $n=8$ ). E a frequência dos polinizadores mostrou uma relação significativa com a frutificação natural inicial do cultivo ( $F_{1,6}=8,3410$ ,  $r^2=0,5816$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0278$ ;  $n=8$ ) (Figura 2d).

A análise de regressão também mostrou uma relação significativa entre a maior taxa de visita dos polinizadores do maracujá-amarelo com a maior frutificação natural inicial ( $F_{1,6}=42,5792$ ,  $gl=1$ ,  $r^2=0,8765$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0006$ ) e a final do cultivo ( $F_{1,6}=18,4312$ ,  $gl=1$ ,  $r^2=0,7544$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0051$ ) e com a maior eficiência de frutificação inicial ( $F_{1,6}=44,7637$ ,  $gl=1$ ,  $r^2=0,8818$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0005$ ) e final ( $F_{1,6}=14,1070$ ,  $gl=1$ ,  $r^2=0,7015$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0094$ ) (Figura 3a-d).

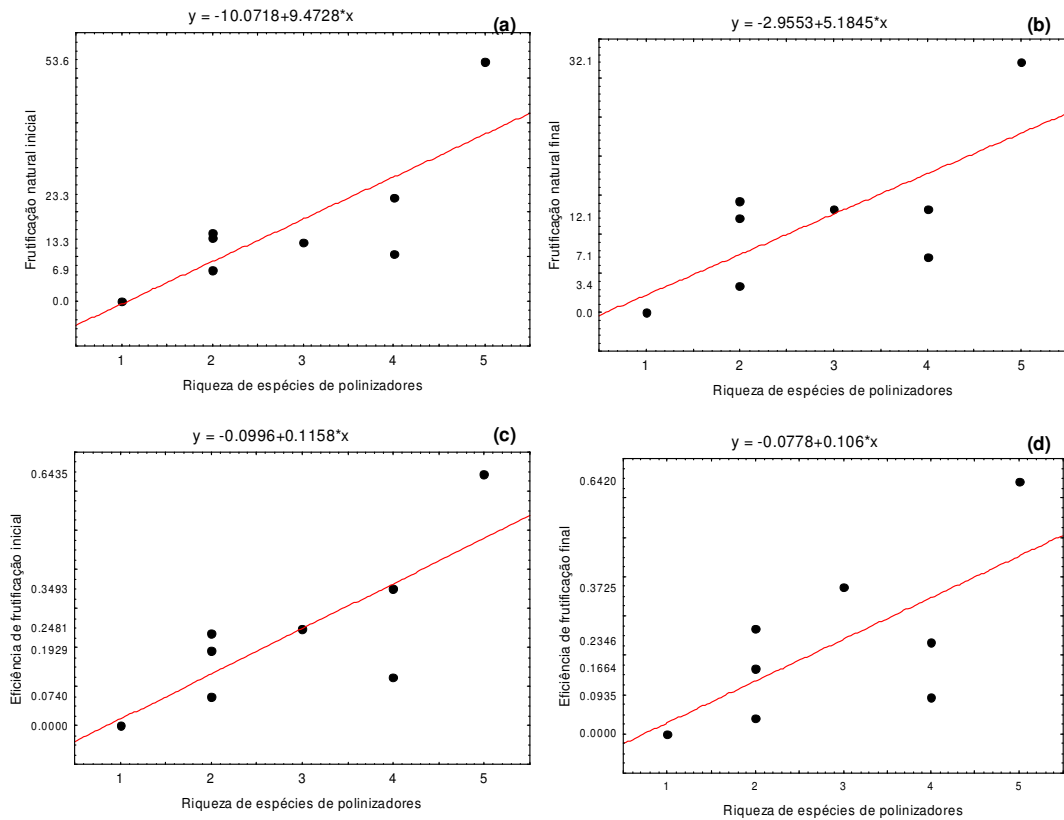


Figura 2 – Relações entre a riqueza de espécies e freqüência dos polinizadores com a frutificação natural: (a) riqueza de espécies de polinizadores e a frutificação natural inicial ( $y=1,7337+0,0665x$ ,  $r^2=0,6299$ ,  $F_{1,6}=10,2146$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0189$ ), (b) riqueza de espécies e frutificação natural final ( $y=1,6565+0,102x$ ,  $r^2=0,5286$ ,  $F_{1,6}=6,7289$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0409$ ), (c) riqueza de espécies de polinizadores e eficiência de frutificação inicial ( $y=1,6104+5,4175x$ ,  $r^2=0,6275$ ,  $F_{1,6}=10,1090$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0191$ ) e (d) freqüência dos polinizadores e frutificação natural inicial ( $y=3,1307+0,2757x$ ,  $r^2=0,5816$ ,  $F_{1,6}=8,3410$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0278$ ). Nível de significância  $p<0,05$ .

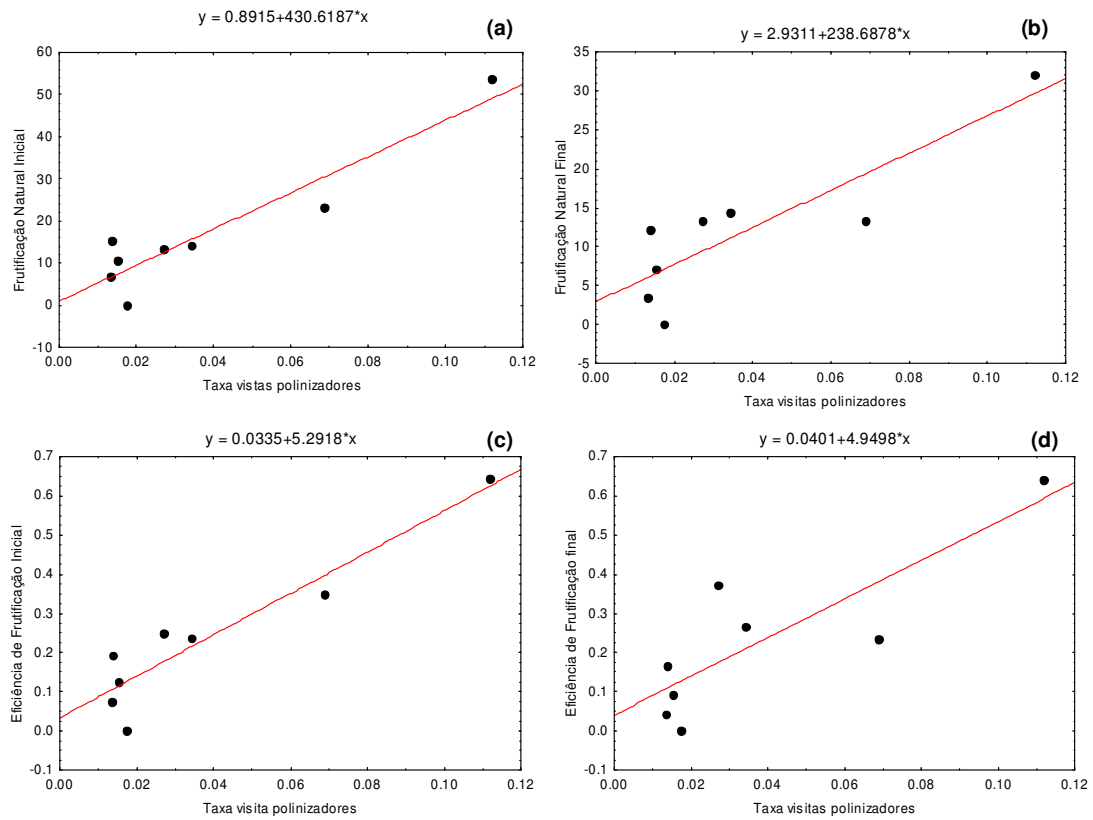


Figura 3 – Relações entre a taxa de visitas dos polinizadores e (a) a frutificação natural inicial ( $y=0,8915+430,6187x$ ,  $r^2=0,8765$ ,  $F_{1,6}=42,5792$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0006$ ), (b) frutificação natural final ( $y=2,9311+238,6878x$ ,  $r^2=0,7544$ ,  $F_{1,6}=18,4312$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0051$ ), (c) eficiência de frutificação inicial ( $y=0,0335+5,2918x$ ,  $r^2=0,8818$ ,  $F_{1,6}=44,7637$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0005$ ) e (d) e eficiência de frutificação final ( $y=0,0401+4,9498x$ ,  $r^2=0,7015$ ,  $F_{1,6}=14,1070$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0094$ ). Nível de significância  $p<0,05$ .

### 3. Disponibilidade de pólen

A quantidade média de pólen disponível para os polinizadores foi estimada em mais de 318.500 grãos-de-pólen por flor no horário de abertura das flores ( $318.629 \pm 110.704,64$ , média  $\pm$  desvio padrão,  $n=40$  flores). A disponibilidade média deste recurso nas áreas diminuiu gradativamente após a antese, atingindo uma queda da oferta dos grãos-de-pólen de até 40% após quatro horas da abertura da flor (Figura 4a). Entretanto, houve variação na disponibilidade de pólen ao longo do período de abertura das flores nas diferentes áreas (Figura 4b), mas o recurso permaneceu disponível para os polinizadores na maioria das áreas.

### 4. Análise das áreas naturais

Na análise de regressão, apenas as variáveis dependentes de frequência dos polinizadores, a frutificação natural inicial e a quantidade de sementes dos frutos polinizados naturalmente se relacionaram significativamente com a proporção das áreas naturais no raio de 250m a partir do pomar ( $F_{1,6}=6,4570$ ,  $r^2= 0,5183$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0440$ ;  $n=8$ ,  $F_{1,6}=6,5170$ ,  $r^2=0,5206$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0433$ ;  $n=8$  e  $F_{1,6}=7,6674$ ,  $r^2=0,5610$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0324$ ,  $n=8$  respectivamente) (Figura 5a,b,c). A quantidade de sementes nos frutos formados por polinização natural também relacionaram significativamente com a proporção de área natural num raio de 500m a partir dos cultivos ( $F_{1,6}=6,1340$ ,  $r^2= 0,5055$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0480$ ;  $n=8$ ) (Figura 5d). A análise de regressão não mostrou relação entre a riqueza de espécies de polinizadores e a proporção das áreas naturais (2000m  $F_{1,6}=0,8959$ ,  $r^2=0,1299$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,3804$ , 1000m  $F_{1,6}=1,9088$ ,  $r^2=0,2413$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,2163$ , 500m  $F_{1,6}=5,7927$ ,  $r^2=0,4912$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0580$  e 250m  $F_{1,6}=5,3090$ ,  $r^2=0,4694$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,0607$ ). As demais variáveis não apresentaram resultados significativos ( $r^2$ ,  $p>0,05$ ).

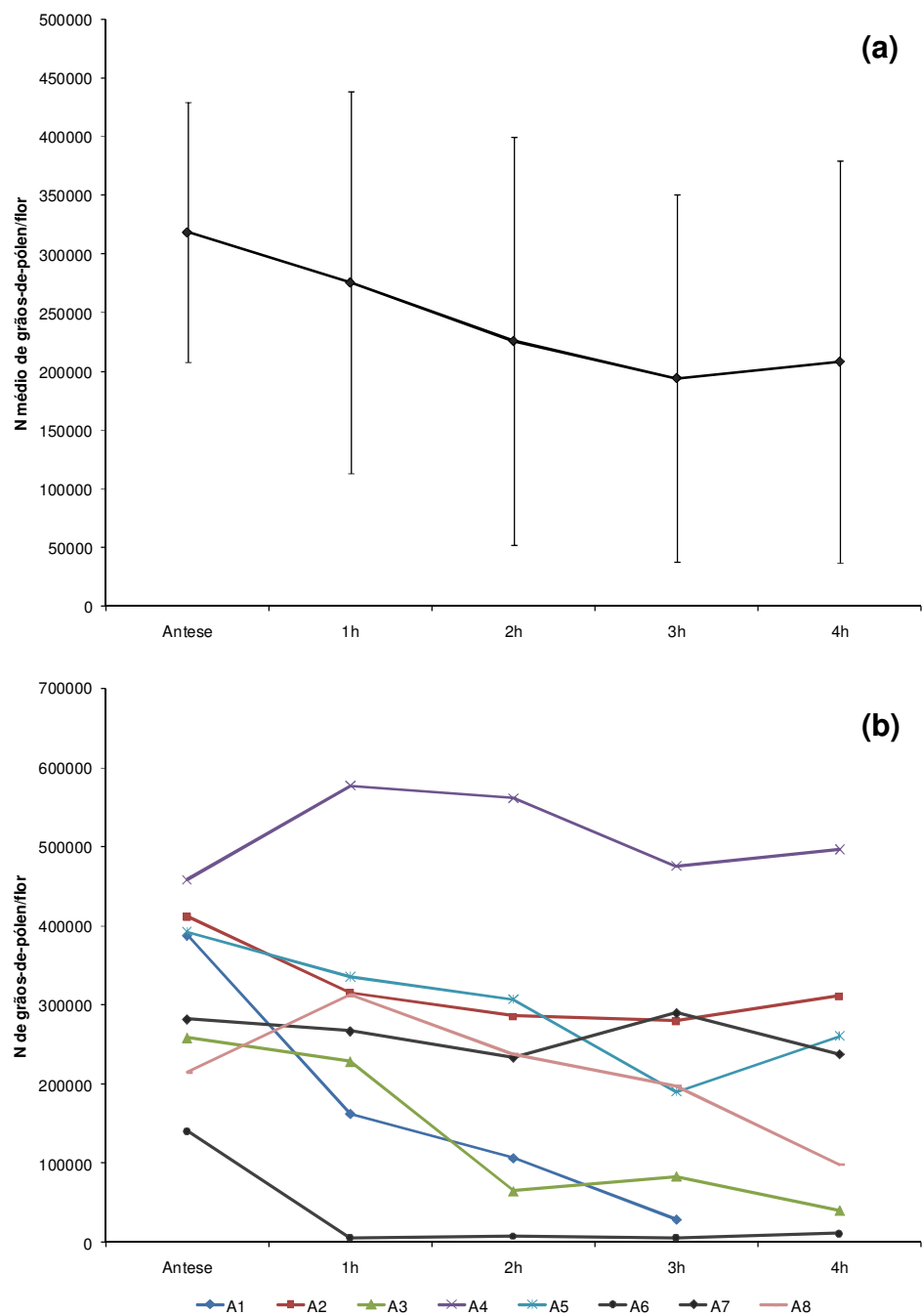


Figura 4 – Disponibilidade média dos grãos-de-pólen por flor do maracujá-amarelo a partir da abertura das flores em diferentes áreas em oito áreas de cultivo do Triângulo Mineiro, MG, nos meses de janeiro e fevereiro de 2007, (a) quantidade média nas 8 áreas  $\pm$  erro padrão e (b) disponibilidade média dos grãos-de-pólen por área de estudo.

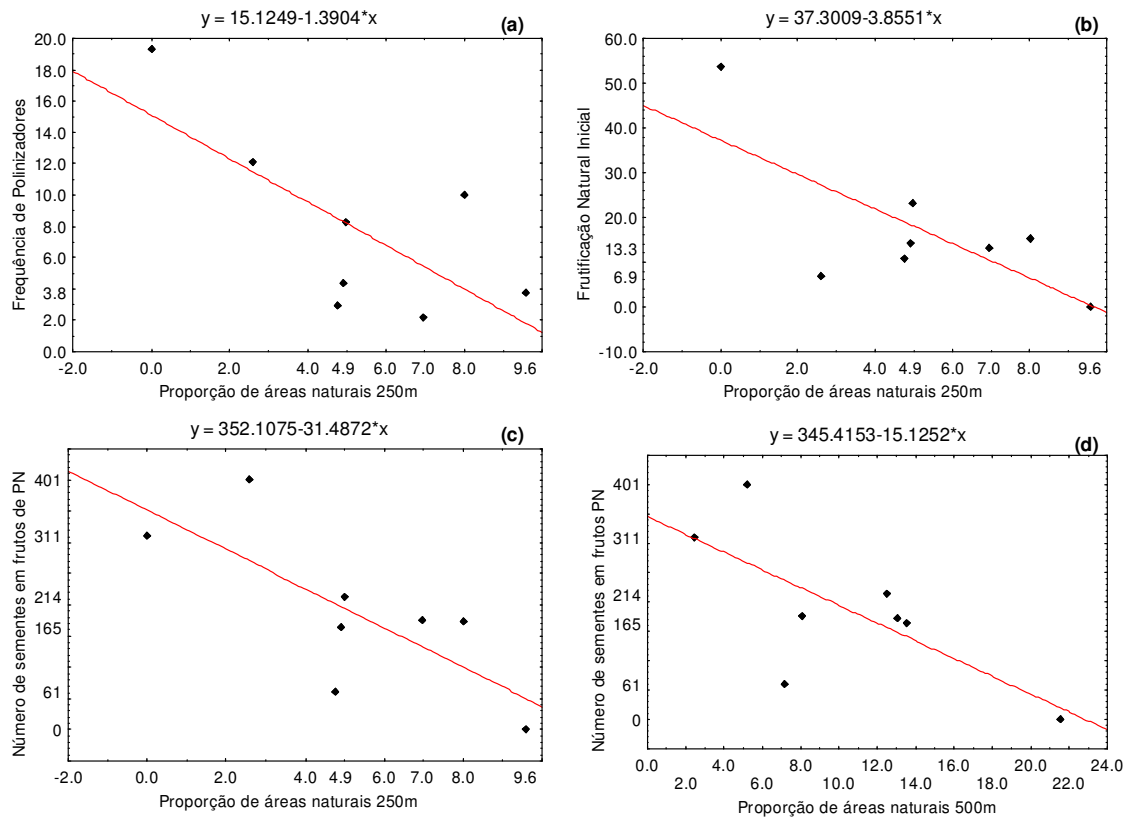


Figura 5 – Relações da proporção das áreas naturais dentro de 250m de raio de cobertura com (a) frequência dos polinizadores ( $y=15,1249-1,3904x$ ,  $r^2=0,5183$ ,  $F_{1,6}=6,4570$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0440$ ), (b) frutificação natural inicial ( $y=37,3009-3,8551x$ ,  $r^2=0,5006$ ,  $F_{1,6}=6,5170$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0433$ ) e (c) quantidade de sementes em frutos polinizados naturalmente ( $y=352,1075-31,4872x$ ,  $r^2=0,5610$ ,  $F_{1,6}=7,6674$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0324$ ). (d) Relação da quantidade de sementes em frutos polinizados naturalmente e a cobertura natural num raio de 500m ( $y=345,4153-15,1252x$ ,  $r^2=0,5055$ ,  $F_{1,6}=6,1340$ ,  $n=8$ ,  $p=0,0480$ ). Nível de significância  $p<0,05$ .

## Discussão

Áreas mais ricas em espécies de polinizadores do maracujá-amarelo apresentaram uma maior frutificação natural nos cultivos na região (veja também no Capítulo 1). E áreas com maior proporção de habitats naturais dentro do raio de 250m do entorno dos pomares mostraram uma relação significativa com a maior frequência dos polinizadores, maior frutificação natural inicial e a maior quantidade de sementes nos frutos provenientes da polinização natural. Mas a cobertura das áreas naturais não mostrou relação significativa com a riqueza e a taxa de visitação dos polinizadores, ao contrário do observado em estudos com os cultivos do tomate (Greenleaf & Kremen 2006a), canola (Morandin et al. 2007) e melancia (Kremen et al. 2004) realizados na América do Norte.

A associação da frequência dos polinizadores e a frutificação natural com a cobertura de áreas naturais dentro de um raio de 250m de distância sugerem a existência de recursos disponíveis para os polinizadores dentro deste perímetro, uma vez que a disponibilidade de recursos florais dentro da área de forrageamento das abelhas nativas pode explicar a sua abundância e riqueza (Gathmann & Tschardt 2002, Potts et al. 2004). Além disso, o número de sementes nos frutos provenientes da polinização natural mostrou uma relação indireta da quantidade de pólen viável depositado nos estigmas e essa deposição foi mais eficiente nos cultivos com maior cobertura de áreas naturais (Potts et al. 2004). A proporção dos habitats naturais tem se apresentado altamente correlacionada com os outros índices de área como a proximidade de habitat e também tem sido considerada apropriada para análises de resposta de variáveis da comunidade dos polinizadores pela quantidade da deposição de pólen (Winfree et al. 2005).

Mas apenas a cobertura das áreas naturais do Cerrado não foi suficiente para explicar a riqueza de espécies e a frequência dos polinizadores ou a produtividade do

cultivo do maracujá-amarelo. Talvez as características do bioma, áreas de entorno dos cultivos, tratos culturais e manejos agrícolas possam afetar a oferta de recursos e substratos de nidificação influenciando na diversidade de polinizadores. A riqueza de abelhas observadas em visitas a flores do Cerrado *sensu lato* (114-196 espécies) foi similar a encontrada em outras regiões tropicais (Carvalho & Bego 1996, Oliveira & Gibbs 2000). Estes autores observaram abelhas de todos os tamanhos, desde abelhas de médio porte como *Apis mellifera* e *Trigona spinipes* até abelhas grandes como *Centris* e *Xylocopa* (Carvalho & Bego 1996, Oliveira & Gibbs 2000), e juntamente com *Eulaema*, *Bombus*, *Melipona* e *Oxaea* são polinizadores comuns de plantas do Cerrado (Oliveira & Gibbs 2002). Representantes destes gêneros de abelhas foram observados nas flores do maracujá-amarelo nas áreas de estudo. Por outro lado, um estudo realizado nos Estados Unidos, analisou as respostas da polinização em escalas de paisagem para cultivos tropicais e apontou que a relação entre a abundância e a riqueza de espécies dos polinizadores com a distância da floresta foi influenciada pelo tamanho do polinizador e pelos tipos de sítios de nidificação (Klein et al. 2008). Abelhas que nidificam em cavidades apresentaram maior declínio na riqueza de espécies e na abundância com o aumento da distância da floresta. Além disso, abelhas de maior porte apresentaram relações não significativas com a distância da floresta, ao contrário das abelhas de menor porte (Klein et al. 2008). Fator que pode ajudar a explicar os resultados encontrados para os polinizadores efetivos do cultivo do maracujá-amarelo.

Abelhas do gênero *Xylocopa* são importantes polinizadores para cultivos tropicais (como *Bertholletia excelsa*, leguminosas, e.g. Freitas & Oliveira-Filho 2001) e para muitas plantas do Cerrado (e.g. Oliveira & Gibbs 2000, Augusto et al. 2004). Para se ter uma idéia, informações sobre as interações entre sete espécies de *Xylocopa* encontradas na região e plantas nativas apontaram 38 espécies visitadas e mais de cinco gêneros de plantas cultivadas (Augusto et al. 2004). A manutenção desta rede de

interações entre as espécies e a conseqüente conectância do ambiente é importante para a conservação de um ecossistema em equilíbrio. A conectância desta rede de interações sugere que as condições do próprio bioma podem favorecer a diversidade destas abelhas polinizadoras e apesar das perturbações existentes, o ambiente ainda é capaz de manter a riqueza de polinizadores na área.

A região do cerrado ocupa *ca.* de 2,5 milhões Km<sup>2</sup> na região central do Brasil e inclui um ambiente altamente diverso em tipos de solos, geologia, geomorfologia e clima, contendo uma distribuição heterogênea de tipos vegetais (Silva et al. 2006). A constituição do bioma caracteriza-se pela formação de mosaicos de fisionomias vegetais naturais que abrangem desde áreas florestais até formações de um único extrato (Oliveira-Filho & Ratter 2002), indicando que as abelhas do cerrado podem estar naturalmente adaptadas a viver em ambiente fragmentado. Estudos de fenologia da vegetação de cerrado apontaram que é possível encontrar espécies florescendo ao longo do ano, indicando a disponibilidade de recursos para os polinizadores (Oliveira & Gibbs 2002). Tal fato sugere a vagilidade dos polinizadores entre as fitofisionomias em busca dos recursos, principalmente para animais com maior capacidade de vôo como insetos grandes, aves e mamíferos.

O maior porte das espécies de *Xylocopa*, associado a sua maior capacidade de vôo (Gathmann & Tscharnke 2002, Greenleaf et al. 2007), são características que reforçam a importância destas espécies como polinizadores do maracujá-amarelo uma vez que são capazes de manter o serviço de polinização por toda a extensão do cultivo que na região normalmente compreendem áreas inferiores a 4,0ha. Esta maior vagilidade e o hábito solitário da maioria das abelhas polinizadoras do maracujá-amarelo podem explicar porque não houve diferença na frequência de visitas dos polinizadores entre os transectos de borda e centro dos cultivos. Da mesma forma, a maior frequência dos pilhadores na borda pode ser explicada pelo hábito social da

maioria das abelhas pilhadoras de recurso e pela menor capacidade de vôo dos seus representantes.

A riqueza de espécies de abelhas polinizadoras nativas (n=8 espécies), mesmo que amostrada em curto período, pouco mais de um mês, ainda foi maior do que a encontrada em outros estudos feitos no Brasil onde foram registrados entre três e sete espécies de abelhas polinizadoras nos Estados de São Paulo (Sazima & Sazima 1989, Camillo 1978), Rio de Janeiro (Benevides 2006) e no Paraná (Melo et al. 2006). Com exceção de outro estudo feito na mesma região, com o registro de nove espécies de polinizadores (Leone 1990). Essa riqueza de polinizadores observada na região parece ser importante para o maracujá-amarelo que requer mais de uma visita por flor para garantir a deposição mínima de *ca.* 200 grãos-de-pólen no estigma para a produção dos frutos (Akamine & Girolami 1959, Ruggiero 1980, Melo et al. 2006). Estudos avaliando a eficiência dos polinizadores do maracujá-amarelo apontaram que a quantidade de frutos formados aumentou em função do número de visitas (Silva et al. 1999, Melo et al. 2006).

A diversidade de espécies pode favorecer o cultivo quando ocorre baixa densidade das espécies de polinizadores, pela complementação do serviço de polinização realizado por alguma espécie que toca diferentes partes da flor, pelo comportamento de forrageio do polinizador e porque os polinizadores podem estar susceptíveis a extinção local (Greenleaf & Kremen 2006b, Klein et al. 2007, Kremen et al. 2007). A maior quantidade de polinizadores aumenta o número de grãos-de-pólen depositado nos estigmas melhorando a qualidade e a quantidade dos produtos agrícolas e passa a ser um fator importante para um cultivo cuja polinização cruzada é essencial, como o maracujá-amarelo. Tais fatores podem explicar a produtividade natural deste cultivo na Região do Triângulo Mineiro. Como descrito para o sistema de produção de sementes do girassol híbrido, cuja polinização é necessária porque a planta é

funcionalmente monóica, foi observado que a maior abundância e riqueza de espécies de abelhas nativas proporcionaram uma maior produtividade do cultivo (Greenleaf & Kremen 2006b). A diversidade da comunidade de polinizadores também é importante para assegurar o serviço de polinização ao longo do tempo e do espaço de um cultivo agrícola (Kremen et al. 2002, Ricketts 2004, Kremen 2008, Ricketts et al. 2008). Populações de insetos, especialmente abelhas apresentam grandes flutuações de ano para ano, nas estações e no espaço (e.g. Roubik 2001, Williams et al. 2001). E dentro de um sistema relativamente diverso, essas perdas temporárias provavelmente não afetam os serviços de polinização de uma determinada espécie de planta (Williams et al. 2001, Memmot et al. 2004).

A eficiência da polinização manual cruzada no maracujá-amarelo foi observada não somente na quantidade de frutos produzidos, mas também na qualidade dos frutos, com maior número de sementes, maior porcentagem de polpa e conseqüentemente maior rendimento na produção do suco. No entanto, o procedimento da polinização manual na região aumenta em *ca.* 15% os custos de produção (Silva 2005, Agrianual 2007). Comumente, os produtores locais utilizam a mão-de-obra familiar para a realização da polinização manual, com raras contratações de funcionários. E quando o procedimento não pôde ser realizado, a produtividade do cultivo dependeu somente dos polinizadores nativos, ressaltando a importância da manutenção deste serviço de polinização nas áreas. A introdução de ninhos experimentais como feito por Camillo (2003) e ninhos racionais por Freitas & Oliveira-Filho (2003) se mostraram bem sucedidos aumentando a produtividade natural do cultivo. Estudos com ninhos armadilhas têm sido conduzidos na região e futuramente podem ser incorporados nos projetos de manejo em cultivos (Chaves-Alves 2009, Mesquita 2009).

Os resultados encontrados sobre a perda dos frutos (média total de aborto  $9,4\% \pm 8,93$ ,  $n=8$  áreas) foram inferiores ao registrado no Estado da Bahia, onde foram

registradas médias de 17% de aborto em 16 áreas de cultivo analisadas (Bos et al. 2007). A perda de frutos não diferiu entre os tratamentos de polinização, tanto que os frutos formados refletiram os benefícios da polinização. Isso indicou que mesmo com a suplementação de pólen nas flores, o maracujazeiro foi capaz de manter os frutos, conseqüentemente, a não formação dos frutos sugere a existência da limitação de pólen. Bos et al.(2007) investigaram a importância dos serviços de polinização para os cultivos do cacau, do café e do maracujá-amarelo, sendo que apenas o maracujá-amarelo apresentou verdadeira limitação de pólen na produtividade dos seus frutos. A limitação de pólen nas plantas polinizadas por animais pode ser conseqüência das poucas visitas dos polinizadores, pouca deposição de pólen por visita ou pela baixa qualidade do pólen depositado, como auto pólen ou pólen incompatível (Ashman et al. 2004). Com base nos resultados obtidos, nas áreas estudadas, provavelmente a limitação do pólen do maracujá-amarelo seria causada principalmente pela falta dos vetores de transporte dos grãos-de-pólen, as abelhas do gênero *Xylocopa*.

Houve uma variação na quantidade de grãos-de-pólen disponível/flor entre os cultivos de maracujá-amarelo observados na região (Capítulo 2). Ainda que se trate de uma amostragem, fatores como tratos culturais, idade do cultivo e a origem das mudas (fabricação própria na Fazenda Água Limpa, do Capítulo 2) podem explicar essa variabilidade.

A perda dos polinizadores nativos é relatada em vários locais do mundo e as maiores ameaças para a diversidade dos polinizadores incluem a destruição e fragmentação das áreas naturais e semi-naturais por reduzir a composição e abundância dos polinizadores nesses habitats (Aizen et al. 2008, Kremen et al. 2007, Steffan-Dewenter & Westphal 2008) e o intenso uso das terras agrícolas pode ter um efeito significativo nas comunidades de polinizadores e na polinização agrícola (Kremen et al. 2007, Steffan-Dewenter & Westphal 2008, Winfree & Kremen 2008). A Região do

Triângulo Mineiro tem apresentado uma das mais elevadas estimativas de antropização do ambiente de cerrado (Cavalcante & Joly 2002) e no município de Uberlândia restaram apenas cerca de 14% de sua vegetação original, ocupada atualmente por pastagens e principalmente por cultivos anuais como a soja (Brito & Prudente 2005).

Embora os resultados obtidos entre os polinizadores e a proporção das áreas de vegetação natural não tenham encontrado relação significativa, reforça-se a necessidade da manutenção dos habitats naturais no entorno das áreas de plantio, mesmo que fragmentadas, para a manutenção da comunidade dos polinizadores do maracujá-amarelo. Uma vez que o cultivo fornece apenas o néctar como recurso alimentar para seus polinizadores, restrito a alguns meses do ano. A diversidade de plantas utilizadas por abelhas do gênero *Xylocopa* ao longo do ano sugere que a manutenção das plantas nativas nos fragmentos de cerrado serve para atrair e preservar as populações destas abelhas (Silva et al. em preparação). Desta forma, o manejo e o enriquecimento do entorno dos cultivos com plantas nativas e até mesmo a presença das plantas ruderais podem ajudar a manter ativas as populações de polinizadores e otimizar o serviço de polinização do maracujá-amarelo.

Para a manutenção dos serviços de polinização faz-se necessário reavaliar a política de conservação dos habitats naturais a fim de disponibilizar os recursos imprescindíveis para a manutenção dos polinizadores nativos. Recursos incluem locais de nidificação (e.g. madeira, troncos mortos, cavidades) e recursos florais suficientes (e.g. néctar, pólen) (Kremen et al. 2007). Esforços no sentido de manter e conservar os recursos necessários para incrementar as populações destes polinizadores são recomendados, uma vez que essas abelhas contribuiriam não somente para a polinização do cultivo, mas também de muitas espécies nativas do cerrado. Além disso, abelhas apresentam um comportamento de sempre retornar ao local de nidificação após o forrageamento, reforçando a idéia de que a proximidade relativa dos locais de

nidificação e dos campos agrícolas é crítica para cultivos polinizados por abelhas (Delaplane & Mayer 2000, Gathmann & Tscharnke 2002). Vale lembrar que tanto áreas perturbadas quanto áreas agrícolas podem oferecer locais de nidificação e recursos florais para os polinizadores (Westphal et al. 2003, Brosi et al. 2007, Williams & Kremen 2007), mas a qualidade desses recursos dependerá das boas práticas de manejo dos produtores (como o uso adequado de pesticidas, Holzschuh et al. 2007) favorecendo a conservação da biodiversidade e os serviços de polinização (Ricketts et al. 2008).

Para alguns cultivos, as abelhas melíferas servem de opção como polinizadoras e podem ser manejadas para tal fim. No entanto, a especificidade do polinizador exigida no maracujá-amarelo reforça a necessidade de estudos no manejo das abelhas carpinteiras nativas. Estudos experimentais têm aproveitado a capacidade das abelhas de nidificar em substratos manipulados pelo homem para propor atividades de manejo destes polinizadores em pomares do maracujá-amarelo (e.g. Camillo 2003, Freitas & Oliveira-Filho 2001, S.C. Augusto comunicação pessoal).

O período de estudo caracterizou-se por um florescimento do maracujá-amarelo curto e atípico, primeiro devido ao atraso na chegada das chuvas e depois pelo excesso destas, prejudicando os cultivos de tal forma que as plantas não floresceram mais nesta safra. Tais fatores podem explicar a frutificação natural inferior (17%) em relação a outros resultados obtidos na região (próximo a 25%, capítulo 1). Por outro lado, como os estudos foram realizados em áreas diferentes, também poderia ser uma indicação de que estas áreas realmente tiveram menos visitas dos polinizadores, menor frutificação natural e área de entorno menos conservadas.

Os resultados podem ser aprimorados com uma coleta de dados mais intensa, mas o presente estudo serve como um protocolo para estudos futuros. Informações como as práticas de manejo, a distância e caracterização dos fragmentos de áreas naturais e até mesmo as plantas ruderais no entorno dos cultivos são importantes para

conhecer os recursos disponíveis para estes polinizadores (e.g. *Xylocopa* spp) e para a caracterização do sistema maracujá-amarelo em todo o seu contexto geográfico (Kremen et al. 2007). Além disso, constituem bons argumentos a serem utilizados nas justificativas de conservação.

### Referências Bibliográficas

- Agrianual Anuário da Agricultura Brasileira 2007. São Paulo. FNP Consultoria e Comércio. 520p.
- Aguilar, R., Ashworth, L., Galetto, L., Aizen, M.A. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters* 9: 968-980.
- Aizen, M.A., Feinsinger, P. 2003. Bees not to be? Responses of insect pollinator faunas and flower pollination to habitat fragmentation. In: *Disruptions and Variability: the Dynamics of Climate, Human Disturbance and Ecosystems in the Americas* (eds Bradshaw, G.A., Marquet, P.A., Mooney, H.A.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 111–129.
- Aizen M., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., Klein, A.M. 2008. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology* doi:10.1016/j.cub.2008.08.066
- Akamine, E.K., Girolami, G. 1959. Pollination and fruit set in the yellow passion fruit. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin. 44p.
- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., Cox, P.A., Dalton, V., Feinsinger, P., Ingram, M., Inouye, D., Jones, C.E., Kennedy, K., Kevan, P., Koopowitz, H., Medellin, R., Medellin-Morales, S., Nabhan, G.P., Pavlik, B., Tepedino, V., Torchio, P., Walker, S. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* 12: 8-17
- Ashman, T., Knight, T.M., Steets, J., Amaresekare, P., Burd, M., Campbell, D.R., Dudash, M.R., Johnston, M.O., Mazer, S.J., Mitchell, R.J., Morgan, M.T. Wilson, W.G. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology* 85: 2408–2421.
- Augusto, S.C.; Silva, C.I.; Barbosa, A.A.A., Oliveira, P.E. 2004. Carpenter bee (*Xylocopa*) pollination in the cerrados of the Triângulo Mineiro. 223p. In: *Proceedings of the 8th Conference on Tropical Bees and VI Encontro sobre Abelhas*. Ribeirão Preto, SP.
- Benevides, C.R. 2006. *Biologia Floral e Polinização de Passifloraceae Nativas e Cultivadas na Região Norte Fluminense-RJ*. Dissertação de mestrado. UENF- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ. 81p.
- Bos, M.M., Veddeler, D., Bogdanski, A.K., Klein, A.M. Tscharnkte, T., Steffan-Dewenter, I. Tylianakis, J.M. 2007. Caveats to quantifying ecosystem services: fruit abortion blurs benefits to crop pollination. *Ecological Applications* 17: 1841-1849.

- Brito, J.S., Prudente, T.D. 2005. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia – MG, utilizando imagens ccd/cbers 2 Caminhos de Geografia 13: 144-153.
- Brosi, B.J., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. 2007. Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecological Application* 17: 418-430.
- Camillo, E. 1978. Polinização do maracujazeiro. In: II Simpósio sobre a cultura do maracujazeiro. Anais... Jaboticabal: UNESP. p. 32-39.
- Camillo, E. 2003. Polinização do Maracujá. Holos, Ribeirão Preto. 44p.
- Carvalho, A. M., Teófilo Sobrinho. 1973. Efeito nocivo de *Apis mellifera* L. Na produção do maracujazeiro. In Congresso Brasileiro de Fruticultura. Viçosa, MG. 2, p. 421-424.
- Cavalcante, R., Joly, C. 2002. The conservation of the cerrados. In: The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna Oliveira, P.S., Marquis, R.J. (Eds). pp. 351-367. Columbia University Press, New York.
- Carvalho, A.M.C., Bego, L.R. 1996. Studies on Apoidea fauna of cerrado vegetation at the Panga Ecological Reserve, Uberlândia, MG. Brazil. *Revista brasileira de Entomologia* 40: 147-156.
- Chaves-Alves, T.M. 2009. Nidificação de *Xylocopa* spp (Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha em áreas de cerrado do Triângulo Mineiro. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG. 57p.
- Dafni, A., Kevan, P.G., Husband, B.C. 2005. Practical Pollination Biology Cambridge, Canada. Enviroquest Ltd. 590 p.
- Debinsky, D.M., Holt, R.D. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* 14: 342-355
- Delaplane, K.S., Mayer, D.F. 2000. Crop pollination by bees. New York, NY: CABI Publishing. 364 p.
- Freitas, B.M., Oliveira-Filho, J.H. 2001. Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas. Fortaleza: BNB, 96p.
- Freitas, B.M., J.H. Oliveira-Filho. 2003. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). *Ciência Rural*. 33:1135-1139.
- Gathmann, A., Tschardtke, T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology* 71: 757-764.
- Ghazoul, J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 367-373.
- Greenleaf, S.S., Kremen, C. 2006a. Wild bee species increase tomato production. *Biological Conservation* 133: 81–87
- Greenleaf, S.S., Kremen, C. 2006b. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 13890-13895
- Greenleaf, S.S., Williams, N.M., Winfree, R., Kremen, C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia* 153: 589–596.
- Grisi Jr., C. 1973. Falta de polinização, a principal causa da queda excessiva de flores nos maracujazeiros (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) na região de Votuporanga. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2, Viçosa, p. 433-436.

- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D., Tscharntke, T. 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology* 44: 41-49.
- Kevan, P.G., Imperatriz-Fonseca V.L. 2006. Pollinating bees. The conservation link between agriculture and nature. Ministry of the environment. 336p.
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., Tscharntke, T. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 270: 955-961.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 274: 303-313.
- Klein, A.M., Cunningham, S.A., Bos, M., Steffan-Dewenter, I. 2008. Advances in pollination ecology from tropical plantation crops. *Ecology* 89: 935-943.
- Kremen, C., Williams, N. M., Thorp, R. W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99: 16812-19816.
- Kremen, C., Williams, N. M., Bugg, R. L., Fay, J. P., Thorp, R. W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters* 7: 1109-1119.
- Kremen, C., Williams, N.M., Aizen, M.A., Gemmil-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S.G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, P. Winfree, R., Adams, L., Crone, E.E., Greenleaf, S.S., Keit, T.H., Klein, A.M., Regetz, J., Ricketts, T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology letters* 10: 299-314.
- Kremen, C. 2008. Crop pollination services from wild bees. In *Bee pollination in agricultural ecosystems*. James, R.R., Pitts-Singer, T. (Eds). 10-26. Oxford University Press.
- Leone, N.R.F.M. 1990. Polinização do maracujázeiro (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) em Araguari, MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 76p.
- Melo, G.A.R., Varassin, I.G., Vieira, A.O.S., Menezes JR, A.O., Löwenberg-Neto, P., Bressan, D.F., Elbl, P.M., Moreira, P.A., Oliveira, P.C., Zanon, M.M.F., Androcioli, H.G., Ximenes, D.S.M., Cervigne, N.S., Prado, J., Ide, A.K. 2006. Polinizadores de maracujás no Paraná. In: *Anais do VII Encontro sobre Abelhas, Ribeirão Preto, CD-ROM*.
- Memmot, J., Waser, N.M., Price, M.V. 2004. Tolerance of pollination network to species extinctions. *Proceedings of the Royal Society of London: series B, Biological Sciences*, 271: 2605-2611
- Mesquita, T.M.S. 2009. Diversidade de abelhas solitárias (Hymenoptera, Apoidea) que nidificam em ninhos-armadilhas em áreas de Cerrado, MG. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, MG.

- Morandin, L.A., Winston, M.L. 2005. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Applications* 15: 871-881.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Oliveira, P.C., Vieira, A.O.S., Cervigne, N.S., Bressan, D.F., Menezes J.R.A.O. 2005. Biologia reprodutiva de populações de *Passiflora edulis*. In Anais 56º Congresso Nacional de Botânica.
- Oliveira, P.E., Gibbs, P.E. 2000. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. *Flora* 195: 311-329.
- Oliveira, P.E., Gibbs, P.E. 2002. Pollination and reproductive biology in cerrado plant communities. In *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Oliveira, P.S., Marquis R.J. (Eds.). Columbia University Press, Washington, 329-347.
- Oliveira-Filho, A.T., Ratter, J.A. 2002. Vegetation physiognomies and Woody flora of the cerrado biome. In *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Oliveira, P.S., Marquis R.J. (Eds.). Columbia University Press, Washington, p 91-120.
- Potts, S.G., Vulliamy, B., Roberts, S., O'Toole, C., Dafni, A., Neéman, G., Willmer, P.G. 2004. Nectar resource diversity organises flower-visitor community structure. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 113: 103-107.
- Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18: 1262-1271.
- Ricketts, T.H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Bogdanski, A., Gemmil-Herren, B., Greenleaf, S.S., Klein, A.M., Mayfield, M.M., Morandin, L.A., Ochieng, A., Viana, B.F. 2008. Landscape effects on crop pollinations services: are there general patterns? *Ecology Letters* 11: 499-515.
- Roubik, D. 2001. Ups and downs in pollinator populations: when is there a decline? *Conservation Ecology* 5: 2
- Ruggiero, C. 1973. Estudos sobre floração e polinização do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). Tese de doutorado. FCAV, Jaboticabal. 92p.
- Ruggiero, C. 1980. Cultura do maracujazeiro. Jaboticabal, UNESP. 147p.
- Ruiz, T., Arroyo, K.M.T. 1978. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica* 10: 221-230
- Sazima, I., Sazima, M. 1989. Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e conseqüências para a polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de Entomologia* 33: 109-118.
- Silva, C.I., Yamamoto, M., Barbosa, A.A.A, Augusto, S.C., Oliveira, P.E.A.M. Em preparação. Recursos florais de plantas do estrato arbóreo utilizados por valiação *Xylocopa* spp (Hymenoptera: Apidae) em fragmentos de cerrado do Triângulo Mineiro.
- Silva, M.M., Bruckner, C.H., Picanço, M., Molina-Rugama, A.J. 1999. Número floral, clima, densidad poblacional de *Xylocopa* spp (Hymenoptera: Anthophoridae) y polinización del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Revista de Biologia Tropical* 47: 711-718.

- Silva, J.R. 2005. Relatório A cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) na Região do Triângulo Mineiro. Aspectos práticos. Relatório técnico. 60p.
- Silva, J.F.; Fariñas, M.R.; Felfili, J.M. & Klink, C.A. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, 33: 536-548.
- Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia* 121: 432-440.
- Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. 2002. Insect communities and biotic interactions on fragmented calcareous grasslands - a mini review. *Biological Conservation* 104: 275-284
- Steffan-Dewenter, I., Westphal, C. 2008. The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology* 45: 737-741.
- Taki, H., Kevan, P.G. 2007. Does habitat loss affect the communities of plants and insects equally in plant-pollinator interactions? *Biodiversity and Conservation* 16: 3147-3161.
- Tschardtke, T., Brandl, R. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology* 49: 405-430
- USDA National Agricultural Statistics Service. 2006. United States Government Printing office. Washington. 532p
- Waser, N.M., Chittka, L., Price, M.V., Williams, N.M., Ollerton, J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters?. *Ecology* 77: 1043-1060.
- Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. 2003. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters* 6: 961-965.
- Williams, N.M., Kremen, C. 2007. Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecological Application* 7: 910-921.
- Williams, N.M., Minckley, R.L., Silveira, F.A. 2001. Variation in native bee faunas and its implications for detecting communities changes. *Conservation Ecology* 5: 7
- Winfree, R., Dushoff, J., Crone, E., Schultz, C. Budny, R. Williams, N., Kremen, C. 2005. Testing simple indices of habitat proximity. *The American Naturalist* 165: 707-717
- Winfree, R., Williams, N.M., Dushoff, J., Kremen, C. 2007. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. *Ecology Letters* 10:1105-1113.
- Winfree, R., Kremen, C. 2008. Are ecosystem services stabilized by differences among species? A test using crop pollination. *Proceedings of the Royal Society B*. doi:10.1098/rspb.2008.0709
- Yamashiro, T. 1981. Comparação de dois métodos de polinização artificial do maracujazeiro amarelo- *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. In Congresso Brasileiro de fruticultura. 990-994.
- Zar, J. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 663 p.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **O MODELO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### O MODELO MARACUJÁ-AMARELO NO TRIÂNGULO MINEIRO

No Brasil, a polinização de cultivos ainda não é vista como um fator importante para incrementar a produtividade. A introdução de colméias para polinizar cultivos agrícolas é utilizada para a maçã (*Malus domestica*) e o melão (*Cucumis melo*), mas essa prática não pode ser utilizada para o maracujá-amarelo, uma vez que se trata de polinizadores diferentes. No entanto, mais estudos experimentais estão sendo realizados, estimulados principalmente pela Iniciativa Brasileira dos Polinizadores, como foi o caso deste estudo.

A frutificação natural do maracujá-amarelo observada para a região do Triângulo Mineiro foi de 25,2% (Capítulo 1), superior ao encontrado em outras regiões do país (ex. Ruggiero 1973, Sazima & Sazima 1989, Freitas & Oliveira-Filho 2001, Camillo 2003, Oliveira *et al.* 2005, Benevides 2006, Bos *et al.* 2007) e dentro da faixa considerada economicamente viável para a região, em torno de 20% (J.R. Silva comunicação pessoal). Esse valor de frutificação natural pode ser explicado pela maior riqueza de abelhas polinizadoras encontrada localmente, quando comparado a estudos realizados em outras regiões do Brasil (Capítulo 1). Ainda que os resultados encontrados não tenham apresentado relações significativas entre a frequência dos polinizadores e a frutificação natural do cultivo, o tamanho estimado da população de polinizadores pareceu explicar a frutificação obtida, pelo menos para uma das áreas de estudo (Capítulo 2). É importante notar que a ausência de polinizadores implica em custos extraordinários para a produção. Apenas a suplementação da polinização, realizada manualmente nos picos de floração, implica em custos de mão de obra que podem atingir em torno de 15% do total dos custos de produção do maracujá (J.R. Silva comunicação pessoal)

Apesar da alta porcentagem de áreas antropizadas na região do Triângulo Mineiro, mais de 50%, (Cavalcante & Joly 2002), as áreas naturais remanescentes ainda parecem ser suficientes para manter as populações dos polinizadores do maracujá-amarelo. As pequenas áreas naturais mantidas nas propriedades, provavelmente as reservas legais exigidas por lei, devem ajudar a manter os recursos necessários para as abelhas. Além disso, a própria vegetação nativa do Cerrado já se constitui num mosaico de matas, campos com vegetação arbustiva e campos limpos (Silva *et al.* 2006) o que pode explicar a vagilidade das espécies visitantes. Abelhas *Xylocopa* spp são importantes polinizadores não somente para cultivos tropicais, mas também para muitas plantas do Cerrado (Oliveira & Gibbs 2002). Dados de interações entre sete espécies de *Xylocopa* que ocorrem na região e de plantas nativas do Cerrado apontam 38 espécies vegetais visitadas e mais de cinco gêneros de plantas cultivadas (Augusto *et al.* 2004). Tais informações indicam que a manutenção desta rede de interações entre as espécies e a conseqüente conectância do ambiente é importante para a manutenção de um ecossistema em equilíbrio (Memmot *et al.* 2004).

A conectância destas redes de interações sugere que as condições do próprio bioma favoreçam a riqueza de espécies e a abundância destas abelhas. A diversidade de plantas utilizadas por *Xylocopa* spp ao longo do ano indica que a manutenção das plantas nativas nos fragmentos de cerrado consegue atrair e preservar as populações destas abelhas (Silva *et al.* em preparação). Além disso, o manejo e o enriquecimento das áreas que cercam os cultivos, com o plantio ou manutenção das plantas nativas e até mesmo, a presença das plantas ruderais podem ajudar a manter ativas as populações de polinizadores e melhorar o serviço de polinização do maracujá-amarelo.

Se os resultados obtidos do maracujá-amarelo forem aplicados no modelo teórico de Kremen *et al.* (2007), é possível ilustrar a situação em aspectos da paisagem local, das comunidades dos polinizadores e das plantas, além de se ter uma idéia sobre

esta rede de interações (Figura 2). Cada etapa ainda necessita de mais informações e são necessários estudos mais detalhados sobre a valoração deste serviço de polinização. Além disso, é preciso que sejam desenvolvidas atividades educativas para conscientização das partes interessadas e envolvidas no processo, para traçar medidas econômicas e políticas locais para determinação do uso e manejo da terra.

Embora a região do Triângulo Mineiro esteja inserida numa área de alta pressão antrópica, a vegetação natural remanescente ainda consegue manter as populações dos polinizadores do maracujá em um tamanho suficiente para manter a produção do cultivo em níveis economicamente viáveis. Além disso, os principais polinizadores também participam de outras interações planta-polinizador formando uma rede de interações importante para a manutenção do equilíbrio deste ecossistema. As informações deste sistema de cultivo podem ser utilizadas para auxiliar no direcionamento das práticas econômicas e políticas de conservação do Cerrado na região.

Os resultados encontrados para a região apontam que apenas a proporção das áreas de vegetação natural no entorno dos cultivos não explica a variação na riqueza dos polinizadores e na produtividade natural do maracujá-amarelo (Capítulo 3). A qualidade dos recursos alimentares disponíveis nos fragmentos, substratos para nidificação e talvez a própria vegetação ruderal resultante do processo de antropização são fatores que podem influenciar na riqueza e diversidade de polinizadores. Além disso, outros estudos feitos na região mostram que os fragmentos de vegetação nativa no entorno de plantios de maracujá são capazes de sustentar abelhas de grande porte para o serviço de polinização deste agroecossistema (Silva et al. em preparação). E reforçam que a composição florística destes fragmentos é importante para se conhecer a fonte de recursos disponível para os polinizadores.



Tabela 1 – Frutificação do maracujá-amarelo em áreas do Brasil.

| Frutificação natural | Área de estudo            | Fonte                            |
|----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 3.27% e 25%*         | Holambra, SP              | Camillo 2003                     |
| 3.6%                 | Cordeirópolis, SP         | Carvalho & Teófilo Sobrinho 1973 |
| 7.5%                 | Presidente Prudente, SP   | Yamashiro 1981                   |
| 6% e 25%**           | Campinas, SP              | Sazima & Sazima 1989             |
| 12%                  | Londrina e Assaí, PR      | Oliveira et al. 2005             |
| 12%                  | Votuporanga, SP           | Grisi Jr. 1973                   |
| 13% e 25%*           | São Luís do Curu, CE      | Freitas & Oliveira-Filho 2001    |
| 16%                  | Juazeiro, BA              | Bos et al. 2007                  |
| 19%                  | Campos do Goytacazes, RJ  | Benevides 2006                   |
| 20%                  | Jaboticabal, SP           | Ruggiero 1973                    |
| 25.2%                | Uberlândia e Araguari, MG | Yamamoto et al. em preparação    |

\* Antes e depois da introdução de ninhos de *Xylocopa* na área de estudo, respectivamente.

\*\*Na presença e ausência de *Trigona* sp., respectivamente.

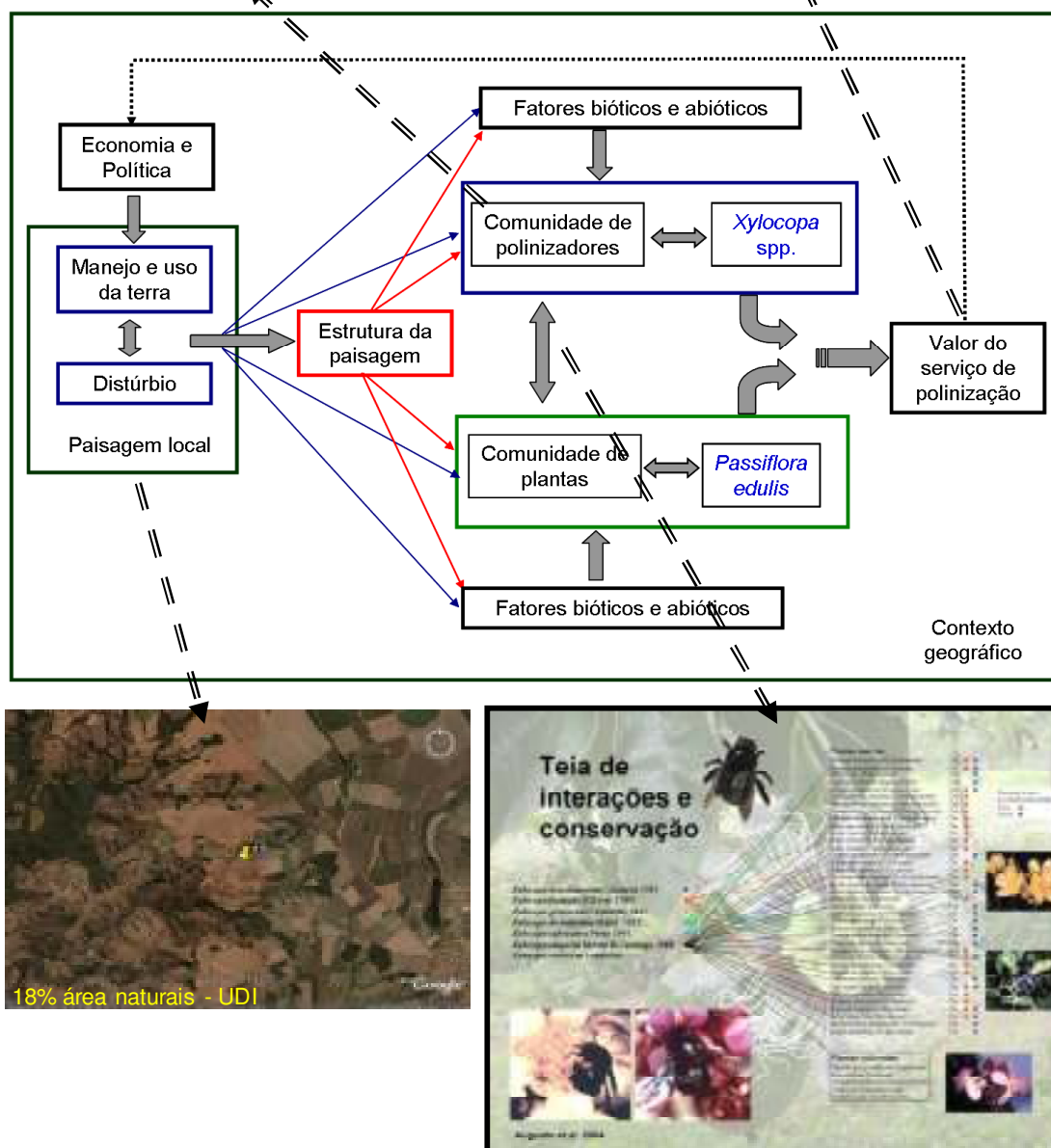


Figura 1– Modelo conceitual dos impactos da mudança de usos da terra no Triângulo Mineiro nos serviços de polinização do maracujá-amarelo. Modificado de Kremen et al. (2007).

Com base nas informações do cultivo do maracujá-amarelo e nos resultados obtidos, é possível inferir que: (1) o cultivo do maracujá, com suas particularidades florais, necessita do serviço de polinização por abelhas grandes; (2) os polinizadores mais efetivos do maracujá-amarelo são abelhas do gênero *Xylocopa* que nidificam em troncos e têm a fundação do ninho solitária; (3) para manter os polinizadores neste agroecossistema são necessários substratos específicos para nidificação e disponibilidade dos recursos alimentares, exigindo a conservação das áreas naturais ou semi-naturais para as abelhas, uma vez que o cultivo dispõe apenas de néctar para os polinizadores. Desta forma, o serviço de polinização para o modelo maracujá-amarelo pode limitar produção de frutos.

Os níveis de polinização natural encontrados na região são semelhantes àqueles em outras regiões do Brasil apenas quando houve suplementação de polinizadores via introdução de ninhos ou controle da competição por abelhas sociais. Estes dados indicam, então, que as condições mencionadas acima no item (3) ainda estão presentes na região do Triângulo Mineiro. A ausência da relação entre a conservação das áreas de vegetação natural com o serviço de polinização no maracujá-amarelo sugere que os níveis de conservação do entorno são minimamente suficientes para manter os níveis de polinização e produção ainda viáveis. Mas não se sabe se estes valores não poderiam ser maiores e nem se eles poderão ser conservados diante do intenso processo de degradação na região.

Embora a limitação dos polinizadores nos cultivos ainda não possa ser sentida globalmente, há indicações desta limitação mais evidentes naquelas culturas dependentes de polinizadores (Aizen *et al.* 2008). Tais indícios reforçam o alerta principalmente para o que pode ocorrer futuramente. Existem muitas questões envolvidas acerca dos serviços ambientais, mas a maioria dos estudos envolvendo os serviços de polinização aponta que as boas práticas de convívio amigáveis com os

polinizadores, a conservação das áreas naturais e o manejo adequado têm favorecido os ambientes em que ocorrem.

Os serviços ecossistêmicos envolvem atividades antagônicas, pois, existe a preocupação com a produção de alimentos e todos os processos envolvidos, como o aumento das áreas agrícolas, o uso de implementos para aumentar a produtividade, entre outros. Mas, existe também a preocupação com a conservação das áreas naturais, manutenção da fauna e flora nativa. Talvez o maior desafio seja equilibrar as necessidades humanas aos serviços ecossistêmicos, uma vez que ambos visam o bem estar humano.

### Referências Bibliográficas

- AIZEN, M.; GARIBALDI, L.A.; CUNNINGHAM, S.A. & KLEIN, A.M. 2008. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology* doi:10.1016/j.cub.2008.08.066
- AUGUSTO, S.C.; SILVA, C.I.; BARBOSA, A.A.A. & OLIVEIRA, P.E. 2004. Carpenter bee (*Xylocopa*) pollination in the cerrados of the Triângulo Mineiro. 223p. *In: Proceedings of the 8th Conference on Tropical Bees and VI Encontro sobre Abelhas*. Ribeirão Preto, SP. 489p.
- BENEVIDES, C.R. 2006. *Biologia Floral e Polinização de Passifloraceae Nativas e Cultivadas na Região Norte Fluminense-RJ*. Dissertação de mestrado. UENF, Campos dos Goytacazes, Brasil. 81p.
- BOS, M.M.; VEDDELER, D.; BOGDANSKI, A.K.; KLEIN, A.M.; TSCHARNTKE, T.; STEFFAN-DEWENTER, I. & TYLIANAKIS, J.M. 2007. Caveats to quantifying ecosystem services: fruit abortion blurs benefits to crop pollination. *Ecological Applications*, 17: 1841-1849.
- CAMILLO, E. 2003. *Polinização do Maracujá*. Holos Editora, Ribeirão Preto, SP. 44p.
- CARVALHO, A.M. & TEÓFILO SOBRINHO, J. 1973. Efeito nocivo de *Apis mellifera* L. Na produção do maracujazeiro. Pp. 421-424. *In Congresso Brasileiro de Fruticultura*. Viçosa, MG. 1208p.
- CAVALCANTE, R. & JOLY, C. 2002. The conservation of cerrados. Pp. 351-367. *In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.). The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a Neotropical savanna* Columbia University Press, New York. 398p.
- FREITAS, B.M. & OLIVEIRA-FILHO, J.H. 2001. *Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas*. Fortaleza: BNB. 96p.
- GRISI JR, C. 1973. Falta de polinização, a principal causa da queda excessiva de flores nos maracujazeiros (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) na região de Votuporanga. Pp. 433-436. *In Congresso Brasileiro de Fruticultura*. Viçosa, MG. 975p.

- KREMEN, C.; WILLIAMS, N.M.; AIZEN, M.A.; GEMMIL-HERREN, B.; LEBUHN, G.; MINCKLEY, R.; PACKER, L.; POTTS, S.G.; ROULSTON, T.; STEFFAN-DEWENTER, I.; VÁZQUEZ, P.; WINFREE, R.; ADAMS, L.; CRONE, E.E.; GREENLEAF, S.S.; KEIT, T.H.; KLEIN, A.M.; REGETZ, J. & RICKETTS, T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology letters*, 10: 299-314.
- MEMMOT, J.; WASER, N.M. & PRICE, M.V. 2004. Tolerance of pollination networks to species extinctions. *Proceeding Royal Society of London B Biological Sciences*, 271: 2605-2611
- OLIVEIRA, P.E., & GIBBS, P.E. 2002. Pollination and reproductive biology in cerrado plant communities. 329-347. In: P.S. Oliveira & R.J. Marquis (eds.) *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, Washington. 398p.
- OLIVEIRA, P.C.; VIEIRA, A.O.S.; CERVIGNE, N.S.; BRESSAN, D.F. & MENEZES J.R.A.O. 2005. Biologia reprodutiva de populações de *Passiflora edulis*. In *Anais 56º Congresso Nacional de Botânica*, Curitiba, PR. (CD-Rom).
- RUGGIERO, C. 1973. *Estudos sobre floração e polinização do maracujá amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa Deg.)*. Tese de doutorado. FCAV, Jaboticabal, Brasil. 92p.
- SAZIMA, I. & SAZIMA, M. 1989. Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e conseqüências para a polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 33: 109-118.
- SILVA, C.I, YAMAMOTO, M., BARBOSA, A.A.A, AUGUSTO, S.C., OLIVEIRA, P.E.A.M. Em preparação. Recursos florais de plantas do estrato arbóreo utilizados por valiação *Xylocopa* spp (Hymenoptera: Apidae) em fragmentos de cerrado do Triângulo Mineiro.
- SILVA, J.F.; FARIÑAS, M.R.; FELFILI, J.M. & KLINK, C.A. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, 33: 536-548.
- YAMASHIRO, T. 1981. Comparação de dois métodos de polinização artificial do maracujazeiro amarelo- *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Pp. 990-994. In *Congresso Brasileiro de fruticultura*. Recife, PE. 1836p.