



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de
Recursos Naturais



**Manejo de abelhas do gênero *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini) para
incremento da frutificação do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*
f. flavicarpa Degener)**

Camila Nonato Junqueira

Uberlândia - MG
Fevereiro - 2012

Camila Nonato Junqueira

**Manejo de abelhas do gênero *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini) para
incremento da frutificação do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*
f. flavicarpa Degener)**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Uberlândia como parte das
exigências para obtenção do título de
Mestre em Ecologia e Conservação de
Recursos Naturais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Solange Cristina
Augusto

Co-Orientadora: Dr^a. Katja Hogendoorn

Uberlândia - MG
Fevereiro – 2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

J95m Junqueira, Camila Nonato, 1987-
2012 Manejo de abelhas do gênero *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini)
para incremento da frutificação do maracujá-amarelo (*Passiflora*
edulis f. *flavicarpa* Degener) / Camila Nonato Junqueira. -- 2012.
69 f. : il.

Orientadora: Solange Cristina Augusto.
Co-orientadora: Katja Hogendoorn.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Re-
cursos Naturais.

Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses. 2. Abelha - Ecologia - Teses. 3. Poliniza-
ção por insetos - Teses. 4. Maracujá-amarelo - Teses. I. Augusto,
Solange Cristina. II. Hogendoorn, Katja. III. Universidade Federal
de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conser-
vação de Recursos Naturais. IV. Título.

CDU: 574

Camila Nonato Junqueira

Manejo de abelhas do gênero *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini) para incremento da frutificação do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Solange Cristina Augusto
Orientadora – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira
Membro Titular – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Carlos Alberto Garófalo
Membro Titular – Universidade de São Paulo (USP)

Dr^a. Marcela Yamamoto
Membro suplente - Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Uberlândia – MG.
Fevereiro, 2012

Agradecimentos

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais e seus professores pelo apoio e estrutura para a realização do projeto de mestrado.

À Maria Angélica que com sua simpatia e atenção, sempre esteve à disposição para qualquer dúvida.

Ao CNPq, à Fapemig e ao PROCAD/CAPES pelo apoio financeiro durante a execução do projeto e à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao engenheiro agrônomo Pedro Gregol da Empresa Brasileira de Bebidas e Alimentos (ebba) pelo apoio e auxílio na seleção das áreas de estudo em Araguari – MG.

Aos produtores de maracujá-amarelo de Araguari- MG pela confiança e por cederem suas propriedades para a execução do trabalho.

À Universidade de Uberaba pela disponibilização da infra-estrutura para a realização das análises químicas e à professora Dr^a. Cristiane Tumang Frare pela amizade e pelos conselhos valiosos acerca da caracterização química dos frutos.

Aos professores Dr. Paulo Eugênio A. M. de Oliveira e Dr. Carlos Alberto Garófalo por aceitarem o convite para participarem da banca de defesa.

À professora Dr^a. Solange Cristina Augusto pela orientação, pela amizade e por acreditar em mim em todas as situações possíveis. Esse trabalho e todo o meu crescimento acadêmico e pessoal durante o mestrado é resultado da sua orientação zelosa e profissional. Muito obrigada!

À professora Dr^a Katja Hogendoorn da Universidade de Adelaide (Austrália), pela co-orientação, pela amizade, por ter contribuído em todas as etapas do trabalho e pela prontidão em ler parte do trabalho em português.

À Dr^a. Marcela Yamamoto pela incrível amizade construída nas idas para Araguari e durante os trabalhos de campo. Muito obrigada por todas as dicas e conselhos sobre a dissertação e o desafio da vida acadêmica.

Aos meus amigos de laboratório Henrique Lomônaco e Otávio Armondos pela ajuda nos trabalhos de campo e por terem deixado todo o trabalho pesado mais leve com a alegria e cantoria de vocês.

À todos os meus amigos do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas (LECA) pela troca saudável de experiências, em especial à Thatiana M. S. Mesquita pela

amizade e pelo incentivo durante a minha iniciação científica e a professora Drª. Fernanda Helena Nogueira-Ferreira pela amizade e pela convivência durante todos esses anos.

Agradeço á minha família, que apesar da estrutura peculiar, é movida pelo amor e companheirismo. Ao meu pai Fábio e minha vó Santusa por serem meu norte, por acreditarem nas minhas decisões e por estarem presentes em cada passo da minha trajetória. À minha madrinha Silvia, meu padrinho Mancini, minha prima Carol e meu primo Cassinho pelo carinho e compreensão e aos meus sobrinhos Antônio e Augusto pela alegria proporcionada diariamente.

À minha irmã Santusa, eu do avesso, que mesmo desafiando minha paciência de irmã mais velha, a quem eu quis ser sempre o exemplo. Muito obrigada por ter compartilhado todas as minhas alegrias e inseguranças e por ter acreditado nessa empreitada acadêmica.

Aos meus amigos por contribuírem com idéias, opiniões, elogios e com inúmeros momentos de muita alegria. Ao Bruno, pela disposição, pela companhia e pela alegria de sempre. À Núbia, pela amizade que transcende a universidade e que nem a distância pode abalar. Ao Pablo, por ter sido uma fonte de inspiração com a sua nobreza e simplicidade. À Roberta, pela amizade doce, mesmo que de vez em quando no corredor do 2D. À Vanessa, ao Luis Paulo e Laíce, por terem tornado o mestrado bem mais agradável. À Eduarda, pela amizade alegre, sonora e carinhosa e por ter aprendido a gostar das abelhas e achar o meu trabalho super interessante, mesmo sendo uma aspirante a advogada. E à Ana Luisa pela amizade e por ter sido uma companhia agradável no LECA nos últimos meses do mestrado.

Agradeço à Natália, pela amizade sincera e transparente, por ser minha alma gêmea, por me complementar em todos os sentidos e pelo apoio incondicional. E, também, por ter me ajudado no trabalho de campo, com suas habilidades cirúrgicas para marcar as minhas flores.

E, por fim, agradeço a Deus, força que mantém e renova continuamente a vida.

Índice

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas.....	ii
Resumo.	iii
Abstract	iv
Introdução Geral	1
Polinização e manejo de polinizadores.....	1
Abelhas do gênero <i>Xylocopa</i> e polinização do maracujá-amarelo	3
Objetivos e Apresentação da Dissertação	6
Referências Bibliográficas	7
Capítulo 1	10
Use of trap-nest to manage carpenter bees, passion fruit pollinators	10
Introduction	11
Material and Methods.....	13
Study Site.....	13
Trap-nests	13
Nest Introduction	14
Data Analysis.....	15
Results	15
Effectivity of transfers	15
Occurrence of new nests at the bee houses.....	16
Population dynamics at the bee houses: nest foundation, reuse and abandonment.....	16
Discussion.....	17
References	Erro! Indicador não definido.

Capítulo 2.....	27
Efeito do manejo de polinizadores do maracujá-amarelo (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i> Degener) na produção de frutos em cultivos comerciais no sudeste brasileiro	27
Introdução.....	28
Material e Métodos.....	31
Áreas de Estudo	31
Espécie Vegetal Estudada.....	32
Espécies Animais Estudadas	33
Procedimentos	33
Introdução de ninhos de polinizadores e oferta de substrato de nidificação em áreas experimentais.....	34
Efeito do manejo de polinizadores (<i>X. frontalis</i> e <i>X. grisescens</i>) na taxa de visitação dessas espécies e de espécies de pilhadores (<i>Apis mellifera</i> e espécies de Meliponini), nos requerimentos de polinização e nos parâmetros físico-químicos dos frutos	36
Taxa de visitação de polinizadores e pilhadores	36
Requerimentos de polinização e caracterização físico-química dos frutos	37
Análise dos dados	38
Resultados	38
Introdução e fundação de ninhos de <i>X. frontalis</i> e <i>X. grisescens</i>	38
Efeito do manejo de ninhos na taxa de visitação de polinizadores (<i>X. frontalis</i> e <i>X. grisescens</i>) e pilhadores.....	39
Requerimentos de polinização.....	41
Caracterização físico-química dos frutos	41
Discussão	44
Referências Bibliográficas	51
Considerações Finais.....	56

Lista de Figuras

Capítulo 1- Use of trap-nest to manage carpenter bees, passion fruit pollinators

Figure 1. Variation in the number of active nests of carpenter bees over the study period, from March, 2008 to January, 2010. Hatched: transferred nests, grey: newly founded nests, black: re-used nests, dark grey: active nests not in any of the previous categories.

Capítulo 2- Efeito do manejo de polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener) na produção de frutos em cultivos comerciais no sudeste brasileiro

Figura 1. Variações na taxa de visitação de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) e pilhadores (*A. mellifera* e espécies da tribo Meliponini) antes (T_0) e após (T_1) a introdução de ninhos de polinizadores (A1: área experimental 1; A3: área experimental 3; A5: área experimental 5) (letras sobreescritas indicam igualdade ou diferença de médias entre as amostragens).

Figura 2. Variação nos parâmetros físico-químicos dos frutos oriundos de polinização natural na área experimental 5 antes (T_0) e após (T_1) a introdução de ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) (média com letras iguais não diferem significativamente; Nº de sementes: número de sementes, Relação SS/ATT: relação sólidos solúveis/acidez total titulável, Rendimento: rendimento da polpa e % de Polpa: porcentagem de polpa).

Lista de Tabelas

Capítulo 2- Efeito do manejo de polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener) na produção de frutos em cultivos comerciais no sudeste brasileiro

Tabela 1. Caracterização das áreas de estudo localizadas em Araguari, MG: coordenadas geográficas, tamanho em hectares (ha), porcentagem de formação de frutos por polinização natural (PN) e distância entre as áreas em quilômetros (km).

Tabela 2. Quantidade de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* com células de cria e sem células de cria introduzidos na área de estudo experimental localizadas em Araguari – MG, de acordo com o tamanho da área de cultivo em hectares (ha).

Tabela 3. Porcentagem de permanência das fêmeas de *X. frontalis* e *X. grisescens* cerca de trinta dias após a transferência dos ninhos (n=36) para áreas de cultivo comercial de maracujá-amarelo, no município de Araguari-MG, de acordo com a presença ou não de células de cria nos ninhos (CC: célula de cria e n=fêmeas que permaneceram nos ninhos introduzidos/total de ninhos introduzidos).

Tabela 4. Número de sementes, relação sólidos solúveis/acidez total titulável (relação SS/ATT), rendimento e porcentagem de polpa (% de polpa) de acordo com o tratamento de polinização antes (T_0) e após (T_1) a introdução de ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) na área experimental 5 e na área controle 4. (Letras sobreescritas indicam igualdade ou diferença de médias entre as amostragens). PN: polinização natural e PMC: polinização manual cruzada.

JUNQUEIRA, C. N. Manejo de abelhas do gênero *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini) para incremento da frutificação do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG. 57p.

Resumo. A produtividade do maracujá-amarelo não atinge níveis ideais em áreas com baixa densidade ou ausência de seus polinizadores efetivos, abelhas do gênero *Xylocopa*. Estas abelhas apresentam tamanho e comportamento de forrageamento adequados para a polinização do maracujá-amarelo e são facilmente atraídas por ninhos-armadilha. O objetivo deste trabalho foi determinar procedimentos de manejo de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* e avaliar a eficiência destes procedimentos no incremento da produção e da qualidade de frutos de maracujá-amarelo em áreas de cultivos comerciais. No período de março de 2008 a janeiro de 2010, foram realizados os experimentos de manejo de ninhos na Fazenda Experimental Água Limpa, Uberlândia – MG. Foram construídos dois ranchos entomológicos, nos quais foram disponibilizados 192 ninhos-armadilha/rancho, confeccionados com gomas de bambu. Adicionalmente 12 ninhos de *X. grisescens* e 17 ninhos de *X. frontalis*, em diferentes estágios de desenvolvimento, foram introduzidos nesses ranchos. Os experimentos acerca da eficiência da introdução de ninhos em áreas de cultivo comerciais de maracujá-amarelo no incremento da produção e da qualidade de frutos foram realizados de novembro de 2010 a junho de 2011, em seis áreas de cultivos comerciais na região de Araguari-MG (três áreas experimentais e três áreas controle). Foram introduzidos quatro ninhos/ha de *X. frontalis* e *X. grisescens* nas três áreas experimentais (n=36 ninhos). A taxa de visitação de polinizadores e pilhadores bem como os tratamentos de polinização e posterior caracterização físico-química dos frutos foram realizados em todas as áreas de estudo antes e após a introdução dos ninhos. Esses ninhos foram colocados em ranchos entomológicos montados próximo aos cultivos, juntamente com outros 48 de ninhos-armadilha. Nos experimentos realizados na Fazenda Experimental, cerca de 50% das fêmeas permaneceram nos ninhos após a transferência, sendo esta permanência maior (acima de 80%) quando os ninhos transferidos apresentavam células de cria. Houve um incremento de 248% no número de ninhos em relação aos ninhos introduzidos, devido à fundação (n=58) e reuso (n=14) dos ninhos. As fundações foram realizadas por fêmeas que emergiram em ninhos do rancho entomológico (n=22 ninhos) e por fêmeas da área de entorno que foram atraídas pelos ninhos-armadilha (n=36 ninhos). Os procedimentos de transferência não afetaram o desenvolvimento dos ninhos, pois não foi verificada diferença significativa em relação à longevidade, número de células de cria e razão sexual entre ninhos introduzidos e fundados. Nas áreas de cultivo comercial, a introdução de ninhos foi bem sucedida em relação à permanência das fêmeas nos ninhos e fundação de novos ninhos. O manejo de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* resultou na diminuição da taxa de visitação dos pilhadores em duas áreas de cultivo e no incremento significativo da taxa de visitação de polinizadores e incremento na produção e na qualidade dos frutos formados através de polinização natural em uma das áreas de cultivo de maracujá-amarelo. Esse estudo demonstra que a introdução de ninhos e a oferta de substratos de nidificação constituem técnicas de manejo eficientes, garantindo assim, serviços sustentados de polinização que incluem aumento na qualidade e na produção de maracujá-amarelo. Os parâmetros utilizados para determinar a quantidade ideal de ninhos introduzidos nas áreas de cultivo e a como proporção de remanescentes naturais e práticas agrícolas influenciam na população de abelhas e na polinização natural necessitam de maiores investigações.

Palavras-chave: Abelha solitária, manejo de abelhas, reuso de ninhos, polinização de cultivos.

JUNQUEIRA, C. N. Management of carpenter bees (Apidae, Xylocopini) to increase natural pollination in passion fruit crops (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). M.S. thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 57p.

Abstract. Passion fruit productivity does not achieve optimal levels in areas with low density or lack of effective pollinators like *Xylocopa* bees. These bees present appropriate size and foraging behavior for passion fruit pollination and are easily managed in trap nests. The aim of the study was to evaluate management procedures of *X. frontalis* and *X. grisescens* and assess the management effectiveness of these species to increase production and quality of yellow passion fruit in commercial orchards. During March 2008 to January 2010, nest management experiments were carried out at Água Limpa Experimental Farm, Uberlândia – MG. Two entomological stations were built to shelter the trap-nests and to check the dynamics of occupation of both *Xylocopa* species. Each entomological station was populated with 192 trap-nests made of bamboo canes. Furthermore 12 nests of *X. grisescens* and 17 nests of *X. frontalis* were introduced to these stations. Experiments involving management effectiveness of these species in increase production and quality of yellow passion fruit were held from November/2010 to June/2011 in six crops areas in Araguari-MG (three experimental areas and three control areas). We introduced four nests/ha of *X. frontalis* and *X. grisescens* in the experimental areas (n=36 nests). Pollinators' visitation rate, pollination tests and further fruits physicochemical characterization were carried out in all study areas before and after nests introduction. These nests were placed in entomological station built near the crop areas, with 48 other trap-nests. In the experiments conducted at the Experimental Farm, about 50% of females remained in their nests after transference and there was a higher females' permanence in nests with brood cells (above 80%). There was an increase of 248% in the number of nests compared to the number of introduced nests, due to nest foundation (n=58) and nest reuse (n=14). Nest foundations were performed by females that emerged in the entomological station (n=22 nests) and by females from the surrounding area, which were attracted by trap-nests (n=36 nests). Transfer procedures did not affect nests development, because there was no significant differences regarding longevity, number of brood cells and sex ratio between introduced and founded nests. In crops areas nest introduction was successful regarding females' permanence and new nests foundation. Nest management of *X. frontalis* and *X. grisescens* resulted in a decrease in visitation rate of thieves in two crop areas and in a significant increase in visitation rate of pollinators, yield and quality of fruits formed through natural pollination in one of the passion fruit crop areas. This study demonstrates that nests introduction of *X. frontalis* and *X. grisescens* and nesting substrates supply are efficient management techniques, thereby ensuring sustained pollination services which include increase in quality and yield of passion fruit. Parameters used to determine the optimal number of nests introduced in crop areas to increase passion fruit yield and how the proportion of natural remnants and farm practices influence bee populations and fruit set require further investigation.

Keywords: Solitary bee, bee management, nest reuse, crop pollination.

Introdução Geral¹

Polinização e manejo de polinizadores

A polinização é considerada como um dos principais serviços ecossistêmicos, pois assegura tanto a manutenção da variabilidade genética entre as espécies vegetais como a produção e a qualidade de diversas culturas agrícolas (Brezee et al. 2011, Kremem et al. 2005).

A maior da maior parte dos cultivos agrícolas mundiais que são fontes de macronutrientes, como mandioca, milho, batata, arroz, trigo e inhame não dependem de polinização mediada por insetos (Eilers et al. 2011, Klein et al. 2007, Welch e Graham 1999). Em contrapartida, 70% das culturas agrícolas que são fonte de micronutrientes dependem da polinização animal para sua produção (Eilers et al. 2011).

Micronutrientes são imprescindíveis para uma dieta saudável e sua deficiência é responsável por causar a fome oculta (Hidden Hunger), desordem nutricional que afeta mais de dois bilhões da população mundial e apresenta complicações de ordem física, mental e cognitiva (Welch e Graham 1999, Rodrigues 2010), o que ressalta a importância da polinização como um serviço ecossistêmico contribuindo para manutenção e incremento da qualidade de vida do homem (Kremem et al. 2005)

As abelhas destacam-se como os principais agentes polinizadores de espécies nativas e cultivadas, pelo fato dos adultos e das crias dependerem de pólen e néctar para alimentação e por apresentarem constância floral durante o forrageamento (Rasmussen et al. 2010).

Cerca de 35% dos cultivos agrícolas mundiais são polinizados por alguma espécie de abelha e a valorização econômica desse serviço foi estimada em 153 bilhões de euros por ano

¹ A formatação dessa seção obedece parcialmente às normas do periódico *Journal of Economic Entomology*.

(Gallai et al. 2009). A abundância e diversidade de comunidades de polinizadores estão associadas ao aumento da produtividade em diferentes cultivos como acerola, girassol e café (Vilhena et al. 2012, Greenleaf and Kremen 2006, Ricketts 2004).

Os serviços de polinização são prestados por diversas espécies de abelhas nativas e introduzidas, como *Apis mellifera*, espécie exótica mais utilizada para polinização em cultivos agrícolas (Free 1993). No entanto devido ao declínio dessas abelhas, causado em parte pela Desordem do Colapso de Colônias, tornou-se imprescindível a manutenção de polinizadores nativos para assegurar serviços de polinização tanto em áreas agrícolas como em áreas naturais (Potts et al. 2010). O declínio de populações de polinizadores nativos também foi registrado em diversos ecossistemas em decorrência da fragmentação e, consequente, perda do habitat, adoção de práticas agrícolas pouco conservacionistas, utilização de pesticidas e competição com espécies exóticas (Potts et al. 2010, Freitas e Pinheiro 2010). Tal declínio pode ser medido relativamente através do recebimento inadequado, qualitativamente e quantitativamente, de grãos de pólen o que acarreta um déficit de polinização que pode limitar a produção agrícola (Vaissière et al. 2011).

Apesar da discussão acerca da validade e da abrangência do declínio polinizadores nativos, é reconhecido que culturas que dependam de polinização para uma produção adequada sejam afetadas negativamente (Ghazoul 2005, Steffan-Dewenter et al. 2005).

Dentre os polinizadores nativos, um grande potencial é observado em abelhas solitárias e os estudos acerca da polinização de espécies como acerola (*Malpighia emarginata* DC) (Vilhena et al. 2012), alfafa (*Medicago sativa* L) (Vicens e Bosch 2000), amêndoas (*Prunus dulcis* Mill), maçã (*Malus domestica* Borkh) (Bosch e Kemp, 2001), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Hogendoorn et al. 2010) e goiaba (*Psidium guajava* L.) (Alves e Freitas 2006) evidenciam a eficácia de abelhas solitárias na polinização de espécies cultivadas e o potencial uso sustentável dessas espécies.

O manejo de polinizadores configura-se como uma ferramenta importante tanto para incrementar a produção em cultivos agrícolas dependentes de polinização animal como para implementação de ações de conservação em áreas naturais. Dentre as espécies brasileiras que podem ser manejadas para polinização aplicada destacam-se as espécies solitárias dos gêneros *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini), *Centris* (Apidae, Centridini), *Tetrapedia* (Apidae, Tetrapediini) e *Megachile* (Megachilidae, Megachilini). Tais espécies nidificam em cavidades pré-existentes como ninhos-armadilha (Garófalo et al. 2004, Mesquita et al. 2009), substrato viável para o manejo dessas espécies, uma vez que facilita a introdução e manutenção de ninhos em áreas de cultivo (Freitas e Oliveira-Filho 2001).

Dentre as espécies solitárias que nidificam em ninhos-armadilha, as abelhas do gênero *Xylocopa* apresentam potencial uso na polinização aplicada, pois são responsáveis diretas pela polinização de espécies nativas e de espécies cultivadas como o maracujá-amarelo (Oliveira e Gibbs 2000, Silva 2009).

Abelhas do gênero *Xylocopa* e polinização do maracujá-amarelo

O gênero *Xylocopa* Latreille, 1802 (Apidae, Xylocopini) inclui abelhas robustas e de grande porte, chegando a medir 4,5 cm de comprimento, com fêmeas apresentando coloração variando do preto ao azul, sendo que os machos do subgênero *Neoxylocopa* apresentam forte dimorfismo sexual com coloração variando do marrom ao amarelo (Hurd 1978, Gerling et al. 1989). O gênero apresenta maior diversidade nos trópicos e subtrópicos, com 730 espécies descritas, sendo que dessas, 50 ocorrem no Brasil (Silveira et al. 2002).

A maioria das espécies de *Xylocopa* constrói ninhos escavando tecidos vegetais secos, sem fendas ou rachaduras, tais como árvores ou troncos mortos, caules ocos e gomos de bambu (Camillo 2003). Fatores como distribuição, abundância e aspectos relacionados à

textura e dimensão do substrato de nidificação são limitantes na ocorrência das espécies do gênero *Xylocopa* e são mais importantes do que a distribuição de fontes de pólen e néctar (Gerling et al. 1989) e afinidade taxonômica por determinados tipos de substratos (Bernardino e Gaglianone 2008), por exemplo.

O período de fundações de novos ninhos de *Xylocopa* spp. está diretamente relacionado com o número de gerações que a espécie produz por ano. Algumas espécies apresentam multivoltismo e são ativas o ano todo, apresentando de quatro a cinco gerações. Nesses casos, os ninhos são, freqüentemente, reutilizados (Sakagami e Laroca 1971, Camillo e Garofalo 1982) o que representa uma melhor utilização do substrato de nidificação e um aumento no contingente de abelhas numa dada área.

Abelhas do gênero *Xylocopa* são consideradas polinizadores efetivos do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis Sims* f. *flavicarpa* Degener) por possuírem tamanho e comportamento de forrageamento adequados e grande autonomia de voo, com espécies cobrindo áreas de até 12 km de raio a partir do seu ninho (Camillo 2003, Freitas e Oliveira-Filho 2001).

Na região do Triângulo Mineiro foram observadas quatro espécies de *Xylocopa* reconhecidas como polinizadoras do maracujá-amarelo, *Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima* Maidl 1912, *X. (Neoxylocopa) suspecta* Moure e Camargo 1988; *X. (Neoxylocopa) frontalis* (Olivier, 1789) e *X. (Neoxylocopa) grisescens* Lepeletier, 1841, tais espécies nidificam em ninhos-armadilhas confeccionados com colmos de bambu (Camillo e Garofalo 1982, Chaves-Alves 2009, Chaves-Alves et al. 2011) e podem ser utilizadas em programas de manejo de polinizadores em áreas de cultivo.

O maracujá-amarelo (*Passiflora edulis Sims* f. *flavicarpa* Degener) apresenta flores hermafroditas, protândricas e auto-incompatíveis, necessitando de polinização cruzada para a formação de frutos (Akamine e Girolami 1959, Corbet e Willmer 1980). Tal espécie é

cultivada no Brasil com interesse econômico e seus frutos são utilizados na indústria de suco e no consumo *in natura* (Souza et al. 2004).

O Brasil destaca-se como o principal produtor e exportador de maracujá-amarelo (Agriannual 2011). No entanto, o país possui um potencial produtivo superior ainda não explorado em sua totalidade e um dos maiores entraves para o aumento da produção é a baixa densidade de abelhas do gênero *Xylocopa* em muitas das áreas de cultivo (Camillo 2003). Fatores como o desmatamento para aumento de área cultivável, eliminando substratos para nidificação e fontes de recursos alimentares e aplicação de pesticidas apresentam efeito negativo para populações de polinizadores. No caso do maracujá, que tem as espécies de *Xylocopa* como os polinizadores efetivos, o sucesso reprodutivo e a manutenção da produtividade não podem ser garantidos em áreas com baixa densidade ou ausência dessas espécies, exceto através da utilização de polinização artificial, método efetivo, mas demorado e de altos custos (Agriannual 2011).

Estudos sobre os aspectos da biologia de nidificação, transferência de ninhos ativos, porcentagem de ocupação de ninhos-armadilha e reutilização de ninhos de espécies do gênero *Xylocopa* fornecem subsídios importantes para o manejo e uso sustentável dessas espécies com o objetivo de incrementar tanto populações de polinizadores quanto a qualidade a produção de frutos de maracujá-amarelo em áreas de cultivo comerciais.

Objetivos e Apresentação da Dissertação

O objetivo geral deste trabalho foi determinar procedimentos de manejo de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* em área de estudo localizada em Uberlândia e avaliar a eficiência do manejo dessas espécies no incremento da produção e da qualidade de frutos de maracujá-amarelo em áreas de cultivos comerciais, localizadas em Araguari na região do Triângulo Mineiro.

A dissertação obedeceu à seguinte estrutura:

O capítulo 1 teve como objetivo geral avaliar a eficiência do manejo de *X. frontalis* e *X. grisescens* na criação e incremento de ninhos destas espécies em uma área pré-estabelecida, testando-se dois procedimentos básicos, oferta de substratos de nidificação (nínhos-armadilha) e transferência de ninhos entre áreas. Avaliou-se a eficácia na transferência de ninhos fundados de *X. frontalis* e *X. grisescens* entre as áreas, o incremento na fundações de novos ninhos e a frequência de comportamento filopátrico e de dispersão pelas fêmeas emergentes.

No capítulo 2 foi avaliada a eficiência dos procedimentos de manejo, testados no Capítulo 1, em áreas de cultivo comercial de maracujá-amarelo. O objetivo geral foi verificar se a introdução de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* em cultivos comerciais promove um aumento nas taxas de visitas destes polinizadores às flores e se este aumento tem um efeito positivo e significativo na quantidade e qualidade dos frutos formados.

Nas considerações finais são apresentados os principais resultados e conclusões acerca do manejo de *X. frontalis* e *X. grisescens* e da utilização sustentável dessas espécies em áreas de cultivos de maracujá-amarelo.

Referências Bibliográficas

- (AGRIANUAL) Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. 2011. FNP, São Paulo, BR.
- Akamine, E. K., and G. Girolami. 1957.** Problems in fruit set in yellow passion fruit. Hawaii Farm. Sci. 14(2):3-4.
- Alves, J. E., and B. M. Freitas. 2006.** Comportamento de pastejo e eficiência de polinização de cinco espécies de abelhas em flores de goiabeira (*Psidium guajava* L.). Rev. Ciênc. Agron. 37(2): 216-220.
- Bernardino, A. S., and M. C. Gaglianone. 2008.** Nest distribution and nesting habits of *Xylocopa ordinaria* Smith (Hymenoptera, Apidae) in a restinga area in the northern Rio de Janeiro State, Brazil. Rev. Bras. Entomol. 52: 434-440.
- Bosch J., and W. P. Kemp. 2000.** Development and emergence of the orchard pollinator *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). Environ. Entomol. 29: 8–13.
- Breeze, T. D., A.P. Bailey, K.G. Balcombe, S.G. Potts. 2011.** Pollination services in the UK: How important are honeybees? Agric. Ecosyst. Environ. 142:137-143.
- Camillo, E. 2003.** Polinização de maracujá. Holos Editora, Ribeirão Preto, SP.
- Camillo, E. and C.A. Garófalo. 1982.** On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in southern Brazil. I- nest construction and biological cycle. Rev. Bras. Biol. 42:571-582.
- Chaves-Alves, T. M. 2009.** Nidificação de *Xylocopa* spp. (Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha em áreas de Cerrado do Triângulo Mineiro. M.S. thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Chaves-Alves, T.M., C.N. Junqueira, L. S. Rabelo, P.E.A.M. Oliveira and S.C. Augusto. 2011.** Recursos ecológicos utilizados por las especies de *Xylocopa* (Hymenoptera, Apidae) en el área urbana. Rev. Colomb. Entomol. 37(2): 313-317.
- Corbet, S. A., and P. G. Willmer. 1980.** Pollination of the yellow passionfruit: nectar, pollen and carpenter bees. J. Agri. Sci. 95: 655-666.
- Eilers E.J., C. Kremen, S.S. Greenleaf, A.K. Garber, and A.M. Klein. 2011.** Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. PLoS One. 6:1-6.
- Free, J. B. 1993.** Insect pollination of crops, 2nd ed. Academic Press, London, UK.
- Freitas, B.M., and J.H. Oliveira Filho. 2001.** Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas. Banco do Nordeste, Fortaleza, BR.

- Freitas, B.M., and J.N. Pinheiro. 2010.** Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no Manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. *Oecol. Aust.* 4(1):266-281.
- Gallai N., J.M. Salles, J. Settele, and B.E. Vaissière. 2009.** Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68:810-821.
- Garófalo, C. A., C. F. Martins, and I. Alves-dos-Santos. 2004.** The Brazilian solitary bee species caught in trap nests, pp. 77–84. In: B. M. Freitas and J. O. P. Pereira (eds.). *Solitary bees - Conservation, rearing and management for pollination*. Imprensa, Fortaleza, BR.
- Ghazoul, J. 2005.** Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends Ecol. Evol.* 20: 367-373.
- Gerling, D., H. H. W. Velthuis, and A. Hefetz. 1989.** Bionomics of the large carpenter bees of the genus *Xylocopa*. *Annu. Rev. Entomol.* 34:163-190.
- Greenleaf, S.S., and C. Kremen. 2006.** Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 103:13890-13895.
- Hurd, P. D. 1978.** An annotated catalog of the carpenter bees (genus *Xylocopa* Latr.) of the Western Hemisphere (Hymenoptera, Anthophoridae). Smithsonian Institution Press, Washington D. C.
- Hogendoorn, K. F. Bartholomaeus and M. A. Keller. 2010.** Chemical and Sensory Comparison of tomatoes pollinated by bees and by a pollination wand. *J. Econ. Entomol.* 103(4):1286-1292.
- Klein, A. M., B.E. Vaissière, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, and C. Kremen. 2007.** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. Bn.* 274:303–313.
- Kremen, C. 2005.** Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecol. Lett.* 8:468–79.
- Mesquita, T. M. S. 2009.** Diversidade de abelhas solitárias (Hymenoptera, Apoidea) que nidificam em ninhos armadilha em áreas de Cerrado. M.S. thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Oliveira, P. E., and P. E Gibbs. 2000.** Reproductive biology of woody plants in a cerrado community Central Brazil. *Flora*. 95: 311-329.
- Potts, S.G., J.C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger, O. and W. E. Kunin. 2010.** Global pollinator decline trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25:345-353.

- Rasmussen, C., J.C. Nieh, and J.C. Biesmeijer. 2010.** Foraging biology of neglected bee pollinators. *Psyche*. 2010:1-2.
- Ricketts, H.T. 2004.** Tropical forest fragments enhance pollinators activity in nearby coffee crops. *Conserv. Biol.* 18(5):1262-1271.
- Rodrigues, C. S. C. 2010.** A fome oculta. *Ceres*. 5(1): 49-51.
- Silva, C.I. 2009.** Distribuição espaço-temporal de recursos florais utilizados por *Xylocopa spp.* e interação com plantas de cerrado sentido restrito no Triângulo Mineiro. Ph. D. Dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Silveira, F.A.; Melo, G.A.R.; Almeida, E.A.B. 2002.** Abelhas brasileiras. Sistemática e Identificação. Fundação Araucária, Belo Horizonte, MG.
- Souza, M. M., T. N. S. Pereira, A. P. Viana, M. G. Pereira, A. T. Amaral Júnior, 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(4): 373-385.
- Steffan-Dewenter, I., S.G. Potts, and L. Packer. 2005.** Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. . *Trends Ecol. Evol.* 20:652-653.
- Vaissière, B.E., B.M. Freitas, and B. Gemmill-Herren. 2011.** Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. (FAO) Food and Agriculture Organization, Roma, IT.
- Vicens, N., and J. Bosch. 2000.** Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on 'Red Delicious' apple. *Environ. Entomol.* 29: 235-240.
- Vilhena, A.M.G.F., L.S. Rabelo, E.M.A. Bastos, and S.C. Augusto. 2012.** Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. *Apidologie*. 43(1):51-62.
- Welch, R. M. and R. D. A. Graham. 1999.** A new paradigm for world agriculture: meeting human needs Productive, sustainable, nutritious. *Field Crop Res.* 60:1- 10.

Capítulo 1

Use of trap-nest to manage carpenter bees, passion fruit pollinators

Use of trap-nest to manage carpenter bees, passion fruit pollinators

O capítulo foi preparado para submissão para a revista *Journal of Applied Entomology* e a formatação obedece parcialmente às normas do periódico.

Introduction

Solitary bees that nests in pre-existing cavities are good candidates for management for sustainable pollination in agroecosystems. In the United States and Europe *Megachile rotundata* (Fabricius, 1787) is used in the alfalfa and blueberry pollination (Stubbs et al. 1994, Pitts-Singer and Cane 2011) and the blue orchard bee, *Osmia* spp. are also successfully managed in fruit-growing areas (Bosch and Kemp 2000, Vicens and Bosch 2000, Bosch and Kemp 2002, Maccagnani et al. 2003).

Solitary or facultative social bees of the genus *Xylocopa* Latreille (carpenter bees) are considered effective pollinators of a range of native and cultivated plant species (Carvalho and Oliveira 2003, Oliveira and Gibbs 2000, Corbet and Wilmer 1980) because they are generalist foragers and demonstrate some floral constancy (Gerling et al. 1989, Frankie and Vinson 1977).

Carpenter bees are large and robust with a length up to 4.5 cm (Michener 2007). The genus present more than 700 species worldwide and 50 species are known to occur in Brazil (Silveira et al. 2002, Michener 2007). Most of the species excavate their nests in dry plant tissue, such as trees or dead trunks (Camillo and Garófalo 1982; Camillo et al. 1986, Chaves-Alves et. al 2011), hollow stems (Ramalho et al. 2004) but they can also occupy pre-existing cavities such as artificial nests made of bamboo canes (Camillo 2003, Pereira and Garófalo 2010, Chaves-Alves et. al 2011).

In southeastern Brazil, *Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis* (Olivier, 1789) and *X. (Neoxylocopa) grisescens* Lepeletier, 1841 are the main pollinators of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, Passifloraceae) (Yamamoto et al. 2012), a crop classified as vulnerable to pollinator decline (Ghazoul 2005) since it is a strictly self-incompatible fruit crop (Rêgo et al. 2000).

Brazil is the main producer of passion fruit, with an estimated annual output of 380 thousand tons (Araújo et al. 2005). In order to achieve optimum production, local farmers use hand pollination techniques that increase production costs up to 12% (Agriannual 2011). An alternative to this expensive technique is the management of carpenter bees into crop areas which can result in an increase of both fruit set and fruit quality (Camillo 2003).

Carpenter bees are considered suitable for management in the crop areas because they can be managed in trap-nests (Oliveira-Filho and Freitas 2003, Pereira and Garófalo 2010). Studies carried out in Brazil have demonstrated that these species to use trap nests made of bamboo canes and wood trunks with suitable texture for digging (Camillo and Garófalo 1982, Camillo and Garófalo 1989, Camillo 2003, Chaves-Alves et al. 2011). They also take up nesting boards in nests boxes based on Langstroth hive, which allows both the management and the behavioral study of these species (Freitas and Oliveira-Filho 2001, Oliveira-Filho and Freitas 2003). Among the trap nests, bamboo cane is the most viable alternative for carpenter bee management since this substrate is relatively easy and cheap to obtain and is well accepted by the bees (Chaves-Alves et al. 2011).

Given that there is both a need and a potential to enhance populations of *Xylocopa* spp. in passion fruit orchards, we studied the effectiveness of specific management procedures of *X. frontalis* and *X. grisescens*. Specifically, we evaluate: a) the effectiveness in transferring established nests of *X. frontalis* and *X. grisescens* between areas; (b) whether such transfers

lead to an enhanced density of bees nesting in the area; and (c) the frequency of philopatric and dispersion behaviors performed by emerging females.

Material and Methods

Study Site

The study was conducted at Água Limpa Experimental Farm ($19^{\circ}05'48''S$ / $48^{\circ}21'05''W$) which belongs to the Federal University of Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, from March/2008 to January/2010. The climate is tropical with two defined seasons, a rainy summer (October to March) and a dry winter (April to September) (Rosa et al. 1991). Água Limpa Experimental Farm has about 60 ha which includes remnants of cerrado, cerrado *sensu stricto*, palms and gallery forest. The area also contains about 17 ha of mainly fruit crops including mango, west Indian cherry, passion fruit, pineapple, guava, tamarind, and several other crops (Neto 2008)

Trap-nests

Two larger bee houses made of wood rafters and plastic canvas cover with 2.5 m of high and 1.5 m long were built at approximately 200 m distance from each other to shelter the trap-nests and to check the dynamics of occupation of *X. frontalis* and *X. grisescens*. In each bee house were available 192 trap-nests (TN) made of bamboo canes closed at one end by the node with a diameter ranging from 1.41 to 2.40 cm and about 25 cm long. This diameters range of TN was based on minimum and maximum diameters of natural nests of *X. frontalis* and *X. grisescens* (Camillo and Garófalo 1982, Camillo et al. 1986). In the bee house, the TN were placed in hollow bricks which were arranged horizontally on shelves and functioned as

support. Access by ants was prevented by applying Tanglefoot® to the supports of the bee houses.

Nest Introduction

After the establishment of the bee houses with empty trap-nests, 12 nests of *X. griseascens* and 17 nests of *X. frontalis* were transferred to these houses ('introduced nests'). These nests were removed from other two bee houses (original houses), at 12 km distance to the study area. These nests had been founded in trap-nests, and contained both adult females and brood cells (1 - 4 cells, n=13 nests) or only solitary adult females (n=16 nests).

The nests were transferred during two periods, in March/2008, during the rainy season (n=14 nests) and in June/2008, during the dry period (n=15 nests).

Prior to transfers, the nests were monitored for nesting activity at the original bee houses in order to select them according to development stages. Furthermore, the bees present in the transferred nests had been individually marked with numbered tags following Yamamoto (2009).

This allowed monitoring the females of introduced nests and observing nest switching, nest foundation and nest reuse. This allowed an assessment of the frequency of females that remained in the original nest after transfer.

The study area was visited twice in a month in order to monitor the introduced nests and observe the occurrence of new foundations. During these visits, which took place from March/2008 to January/2010, between 10:00 am and 14:00 pm, an otoscope was used to identify adult occupants and the presence of brood cells in the trap nests.

Data Analysis

Statistical analysis was performed according to Zar (1999) using the statistical program SYSTAT 10.2[©] (2002). To compare the effectiveness of introduced nests in the dry and the rainy seasons as well as to assess the sex ratio we used the chi-square test. To analyze the number of cells produced in the nests in which females remained after the nest transfer and in those in which they abandoned, we used the Mann-Whitney test. The mean values are followed by standard error values.

Results

Effectivity of transfers

Females remained in 54% of the introduced nests ($n= 15$) of *X. frontalis* and *X. grisescens*. There was no significant difference between the species ($\chi^2 = 0.258$, $p> 0.05$), with 50 % of *X. frontalis* ($n=9$) and 60% of *X. grisescens* ($n=6$) remaining.

There was a higher percentage of females permanence after transfers (81.8%) in introduced nests with a higher number of cells (1.4 ± 1.4 cells) compared to those with a lower number of cells (0.30 ± 0.75 cells) ($U_{0.05(2)13,15}=53$, $p<0.05$) which were more frequently abandoned by females.

The permanence of females after transfer was not influenced by season. The percentage of females that remained in their nests was 57% ($n=15$ introduced nests) during the rainy season and 50% ($n=14$ introduced nests) in the dry season ($\chi^2 = 0.144$, $p> 0.05$).

Occurrence of new nests at the bee houses

During the study period 58 new nests were founded and 14 nests were re-used at the bee houses, 79% (n=57) of *X. frontalis* and 21% (n=15) of *X. grisescens*. Most nest foundation and re-activation occurred in the rainy season for both species. Of the females that emerged from the introduced nests or from nest founded in the experimental station, 132 were marked and 60 of these remained in the study area founding or reusing nests. New nests were founded by females that emerged from the introduced nests (n=22 nests) and by females that were attracted by trap-nests from the surrounding area (n=36 nests).

The average diameter of the cavity in the trap was 19.7 ± 2.1 mm (range: 15.5 to 24.0 mm) for nests occupied by *X. frontalis* and 20.1 ± 2.0 mm (range: 17.1 to 23.1mm) for *X. grisescens*. Thus, it seems that trap nests with an inner diameter of less than 18 mm and more than 22 mm were not suitable. Of all TN available in the study area, 21% became occupied. Taking into account only the nests substrate of suitable diameter, the percentage of occupancy was 45%, 34% for *X. frontalis* and 11% for *X. grisescens*.

Population dynamics at the bee houses: nest foundation, reuse and abandonment

The number of active nests founded and reused (already established nests with a female foraging for nectar and/or pollen and producing brood cells) and newly founded nests (females' establishment and beginning of foraging activity) fluctuated throughout the study period (Figure 1). An increase of nests occurred by founding and reusing of new nests and a decreased by abandonment of nests in development or when females dispersed after emergence. Considering the number of introduced nests (n=29) and the total number founded and re-used during the study period (n=72), there was an increase of 248 %

The number of founded nests increased after the first year of study. *Xylocopa frontalis* and *X. grisescens* were actively provisioning cells throughout the year and produced more than one generation per year. During the study period, a maximum of 30 simultaneously active nests were observed. There was a higher number of foundations during the rainy season than during the dry season (October-March) ($\chi^2 = 4.5$, $p < 0.05$) (Figure 1).

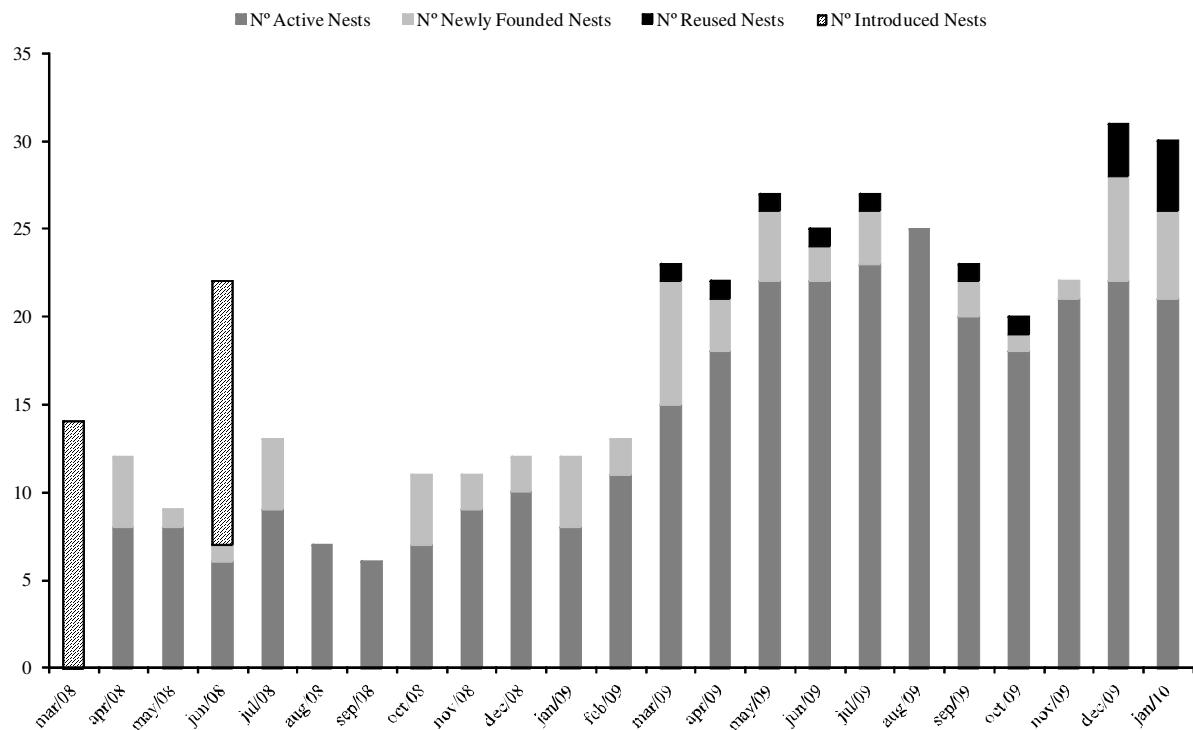


Figure 1. Variation in the number of active nests of carpenter bees over the study period, from March, 2008 to January, 2010. Hatched: transferred nests, grey: newly founded nests, black: re-used nests, dark grey: active nests not in any of the previous categories.

Discussion

After initial introduction of a limited number of nests of *Xylocopa*, a large increase in the use of trap nests made of bamboo canes was observed over the course of 23 months. This demonstrates that provision of such nests in combination with provision of a “seed

population” can be a cheap and effective way of establishing and managing a population of *Xylocopa* bees in passion fruit orchards.

The population build up was not only due to emerging brood, from the seed population, but also attracted females from the environment. Compared to solid wood, the attractiveness of bamboo nesting substrate may be associated with a smaller nest-building effort, since the gallery is practically ready (Maeta et al. 1996). The carpenter bees generally do not show an affinity to substrate of specific plant taxa (Bernardino and Gaglione 2008), it is likely that any substrate with suitable characteristics, such as wood density or length of gallery is suitable for the management of carpenter bees (Gerling et al. 1989).

Transfer of active nests containing brood cells lead to a higher permanence of the initial females contingent. In this study females from introduced nests with brood cells had a permanence success of over 80%, which was higher than obtained with the use of rational nests to increase the number of individuals of carpenter bees in a passion fruit orchard (Freitas and Oliveira-Filho 2001).

It is possible that the nesting activity improves the reorientation capacity of these females in a new site after nest transfer, different from observed for some solitary bees and wasps which can be disoriented and abandon their nests after transfer (Bosch and Kemp 2001, Fauria and Campan 1998). Improved orientation could be due to the presence of pollen inside the nest, as has been found to play a role in new nest founding by *Megachile rotundata* (Parker et al 1983; Pitts-singer 2007). However, studies of *Xylocopa* sp. nesting behavior show that females mark their nest and use olfactory cues and individual odors (Anzenberger 1986, Hefetz 1992). Therefore, it is likely that the females initially transferred remained in their nest more often because these markings allowed them to reorient on their own nest.

Furthermore, in *Xylocopa* bees, the presence of the mother throughout brood development is crucial for the protection of the brood against predators (Watmough 1974). Newly eclosed carpenter bees remain in maternal nests for up to 30 days after eclosion before they reach physiological maturity. During this period they are fed by the mother through trophallaxis (Strohm and Linsenmair 2000, Camillo and Garófalo 1989), and consume pollen supplies brought in by the mother (van der Blom and Velthuis 1988). Therefore, the investment already made by females in active nests combined with obligate maternal care for eclosing brood, may provide additional motivation to remain with the brood after transfer of the nest to a different location.

In addition to the successful transfer of nests that contained brood, an increase of over 200% was observed in the number of nests at the entomological stations due to new foundations, both by females that did not originate from introduced nests and by philopatric behavior, i.e., offspring that emerged at the bee houses founded nests at the same location (Antonini et al. 2000) or reused the maternal nest (Camillo 2003).

Besides higher dispersal of females after emergence compared to philopatric behavior, the trap-nests system used was also very attractive to females from the surrounding area. This attractiveness promoted a nest aggregation which might be related to the presence of active nests and/or due to aggregation pheromones (Roubik 1989) as reported for other *Xylocopa* species (Michener 1979, Camillo and Garófalo 1989) or by limited suitable nesting habitats and floral resources proximity (Wcislo and Cane 1996, Viana et al. 2002).

In the long run, populations of carpenter bees could be maintained in passion fruit orchards through continued nests protection from ant raids (Gerling et al. 1989), a regular supply of fresh nesting materials of suitable sizes, and plantings of other crop species in the surrounding of the orchards in order to maintain food availability (Camillo 2003).

In our study, it is likely that food availability in the surrounding of the study area, the constant supply of nesting substrate and the multivoltinism, typical of the genus *Xylocopa*, contributed to the large number of active nests throughout the year (Sakagami and Laroca 1971, Camillo and Garófalo 1982) and played an important role in the permanence of females. The higher number of foundations during the rainy season may be related to the increase in food resources at that period of the year (Silva 2009).

The number of brood cells per nest for both species confirms observations made by Bernardino (2008), Chaves-Alves (2009) and Pereira and Garófalo (2010) and this result is related to substrate characteristics such as size and durability of the nest substrate. Bamboo canes, unlike natural substrates such as logs, only allow linear gallery excavation and the substrate is prone to wear due to the excavation during the brood cells construction. Therefore both the length and the substrate lifetime limit the number of brood cells built and the re-use of nest.

The reuse percentage was low compared with results obtained by (Chaves-Alves 2009) for the same species in the same study area, which may reflect nest substrate availability. Using a smaller number of TN ($n=112$), the author found approximately 38% of nest reuse whereas in this study, we observed a 16 % nest reuse for a total of 384 TN available. Nest reuse is an important process in the understanding of eusocial in Hymenoptera, as it increases the odds of related females associations (Yanega 1990) and it is also an important factor to be considered in bee management since it represents a greater longevity and a better use of nest substrates since the nests made of bamboo cane can be reused up to four times, which represented a longevity of 202 days (Chaves-Alves 2009).

In conclusion, the results obtained allow us to design future strategies for increasing and maintaining carpenter bees populations by using artificial substrates in passion fruit crop areas. Our data clearly show that, when bamboo cane is used as nesting substrate, it is

essential that new nesting opportunities are supplied on an on-going basis and nests that have been used and are not occupied anymore should be removed.

Among the species studied, *X. frontalis* is the most abundant and the most generalist regarding food resources and nesting substrates features compare to *X. grisescens* (Gerling et al. 1989, Silveira et al. 2002) and thus it is a more plastic species and potentially more efficient for management actions. Further work is needed regarding breeding program for *Xylocopa* bees with a genetic approach, in order to create a source for seed populations, and research into possible plantings in cropping areas that have a depauperate vegetation in the surroundings are needed to further enhance pollinator managing techniques in passion fruit orchards.

References

- [Agriannual] 2011. Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. FNP (São Paulo): 1 – 482.
- Antonini Y, Jacobi CM, Martins RP, 2000. Philopatry in the Neotropical Ground-Nesting Solitary Digger Bee, *Diadasina distinct* (Holmner, 1903) (Hymenoptera: Apidae) at a Nesting Site in Southeastern Brazil. Rev. Etol. 2,111-119.
- Anzenberger G, 1986. How do carpenter bees recognize the entrance of their nests?: An experimental investigation in a natural habitat. Ethology 71(1), 54-62.
- Araújo JLP, Araújo EP, Correia RC, 2005. Análise do Custo de Produção e Rentabilidade do Maracujá Explorado na Região do Submédio São Francisco. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 122: 1-4.
- Bernardino AS, 2008. Biologia de nidificação e estratégias de manejo de *Xylocopa ordinaria* e *Xylocopa frontalis* (Hymenoptera, Apidae) no norte do Rio de Janeiro. PHD Thesis. Universidade Estadual do Norte Fluminense (Campos dos Goytacazes- RJ).
- Bernardino AS, Gaglianone MC, 2008. Nest distribution and nesting habits of *Xylocopa ordinaria* Smith (Hymenoptera, Apidae) in a restinga area in the northern Rio de Janeiro State, Brazil. Rev. bras. entomol. 52, 434-440.
- Bosch J, Kemp WP, 2000. Development and emergence of the orchard pollinator *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). Environ. Entomol. 29, 8–13.
- Bosch J, Kemp WP, 2001. How to Manage the Blue Orchard Bee. MD: Sustainable Agriculture Network, Beltsville.
- Bosch J, Kemp WP, 2002. Developing and establishing bee species as crop pollinators: the example of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. Bull. Entomol. Soc. Am. 92, 3-16.
- Blom J van der, Velthuis HHW, 1988. Social behavior of the carpenter bee *Xylocopa pubescens* (Spinola). Ethology 79,281- 294.
- Camillo E, 2003. Polinização de maracujá. Holos Editora, Ribeirão Preto.
- Camilo E, Garófalo CA, 1982. On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in southern Brazil: nest construction and biological cycle. R. bras. Biol. 42, 571-582.
- Camillo E, Garófalo CA, 1989. Social organization in reactivated nests of three species of *Xylocopa* (Hymenoptera, Anthophoridae) in Southeastern Brasil. Insectes Soc. 36, 92-105.

- Camillo E, Garófalo CA, Muccillo G, 1986. On the bionomics of *Xylocopa suspecta* (Moure) in Southern Brazil: nest construction and biological cycle (Hymenoptera: Anthophoridae). R. bras. Biol. 46, 383-393.
- Carvalho DA, Oliveira PE, 2003. Biologia reprodutiva e polinização de *Senna sylvestris* (Vell.) I. & B. (Leguminosae, Caesalpinoideae). 26(3), 319-328.
- Chaves-Alves TM, 2009. Nidificação de *Xylocopa* spp. (Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha em áreas de Cerrado do Triângulo Mineiro. PHD Thesis. Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia, MG).
- Chaves-Alves TM, Junqueira CN, Rabelo LS, Oliveira PEAM, Augusto SC, 2011. Recursos ecológicos utilizados por las especies de *Xylocopa* (Hymenoptera, Apidae) en el área urbana. Rev. Col. Entomol. 37(2), 313-317.
- Corbet SA, Willmer PG, 1980. Pollination of the yellow passionfruit: nectar, pollen and Carpenter bees. J. Agr. Sci. 95, 655-666.
- Fauria K, Campan, R, 1998. Do solitary bees *Osmia cornuta* Latr. and *Osmia lignaria* Cresson use proximal visual cues to localize their nest? J. Insect Behav. 11, 649-669.
- Frankie GW, Vinson SB, 1977. Scent marking of passion flowers in Texas by females of *Xylocopa virginica texana* (Hymenoptera: Anthophoridae). J. Kans. Entomol. Soc. 50, 613-625.
- Freitas BM, Oliveira-Filho JH, 2001 Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas. Banco do Nordeste, Fortaleza.
- Gerling D, Velthuis HHW, Hefetz A, 1989. Bionomics of the large carpenter bees of the genus *Xylocopa*. Annu. Rev. Entomol. 34, 163-190.
- Ghazoul J, 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. Trends Ecol. Evol. 20, 367-373.
- Hefetz A, 1992. Individual scent marking of the nest entrance as a mechanism for nest recognition in *Xylocopa pubescens* (Hymenoptera: Anthophoridae). J. Insect Behav. 5(6), 763-772.
- Hogendoorn K, Velthuis HHW, 1993. The sociality of *Xylocopa pubescens*: does a helper really help? Behav. Ecol. Sociobiol. 32, 247-257.
- Maccagnani B, Ladurner E, Santi F, Burgio G, 2003. *Osmia cornuta* (Hymenoptera, Megachilidae) as a pollinator of pear (*Pyrus communis*): fruit- and seed-set. Apidologie, 34, 207-216.

- Maeta Y, Miyanaga R, Sugiura N, 1996. Additional notes on the nesting habits of the Taiwanese bamboo carpenter bee, *Xylocopa* (Biluna) *tranquebarorum* *tranquebarorum* (Hymenoptera, Anthophoridae). Jpn. J. Entomol. 64: 669-680.
- Marchi P, Melo GAR, 2010. Biologia de nidificação de *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *frontalis* (Olivier) (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em Morretes, Paraná. Oecol. Austral. 14(1), 210-231.
- Michener CD, 2007. The bees of the world. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Michener, CD, 1979. Biogeography of the bees. Ann. Missouri Bot. Gard. 66, 277-347.
- Neto, PL, 2008. Levantamento planimétrico n° 36.243, Prefeitura de Uberlândia, Minas Gerais.
- Oliveira PE, Gibbs PE, 2000. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community Central Brazil. Flora 95, 311-329.
- Oliveira-Filho JH, Freitas BM, 2003. Colonização e biologia reprodutiva de (*Xylocopa* *frontalis*) em um modelo de ninho racional. Cienc. Rural 33(4), 693-697.
- Parker FD, Teranishi R, Olson AC, 1983. Influence of attractants on nest establishment by the alfalfa leafcutting bee (Hymenoptera: Megachilidae) in styrofoam and rolled paper. J. Kans. Entomol. Soc. 56, 477-482.
- Pereira M, 2002. Biologia de nidificação de *Xylocopa forntalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Aoidae, Xylocopini) em ninhos-armadilhas. PHD Thesis. Faculadade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto-USP (Ribeirão Preto-SP).
- Pereira M, Garófalo CA, 2010. Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. Oecol. Austral. 14: 193-209.
- Pitts-Singer TL, 2007. Olfactory response of Megachilid bees, *Osmia lignaria*, *Megachile rotundata*, and *M. pugnata*, to individual cues from old nest cavities. Environ. Entomol. 36, 402-408.
- Pitts-Singer TL, Cane JH, 2011. The Alfalfa Leafcutting Bee, *Megachile rotundata*: The World's Most Intensively Managed Solitary Bee. Annu. Rev. Entomol. 56, 221-237.
- Ramalho M, Batista M, Silva M, 2004. *Xylocopa* (*Monoxylocopa*) *abbreviata* Hurd & Moure (Hymenoptera, Apidae) e *Encholirium spectabile* (Bromeliaceae): uma associação estreita no semi-árido do Brasil Tropical. Neotrop. Entomol. 33, 417-425.
- Rosa R, Lima SCC, Assunção WL, 1991. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). S & N 3,91-108.

- Rêgo MM, Rêgo ER, Bruckner CH, Da Silva EAM, Finger FL, Pereira KJC, 2000. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses. *Theor. Appl. Genet.* 10:685-689.
- Silva CI, 2009. Distribuição espaço-temporal de recursos florais utilizados por *Xylocopa* spp. e interação com plantas de cerrado sentido restrito no Triângulo Mineiro. PHD Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia – MG).
- Sakagami SF, Laroca S, 1971. Observations on the bionomics of some Neotropical Xylocopini bees, with some comparative biofaunistic notes (Hymenoptera, Anthophoridae). *J. Sci.* 18, 57-127.
- Silveira FA, Melo GAR, Almeida EAB, 2002. Abelhas brasileiras. Sistemática e Identificação. Fundação Araucária, Belo Horizonte.
- Systat 10.2[®] Copyright (2002) SYSTAT Software Inc. All Rights Reserved.
- Strohm E, Linsenmair KE, 2000. Allocation of parental investment among individual offspring in the European beewolf *Philanthus triangulum* F. (Hymenoptera: Sphecidae). *Biol. J. Linn. Soc.* 69, 73-192.
- Stubbs CS, Drummond FA, Osgood EA, 1994. *Osmia ribifloris bidermannii* and *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae) introduced into the lowbush blueberry agroecosystem in Maine. *J. Kans. Entomol. Soc.* 67:173-185.
- Vaissière BE, Freitas BM, Gemmill-Herren B, 2011. Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. FAO, Rome.
- Viana BF, Kleinert AMP, Silva FO, 2002. Ecologia de *Xylocopa (Neoxylocopa) cearensis* (Hymenoptera, Anthophoridae) nas dunas litorâneas de Abaeté, Salvador, Bahia. *Iheringia Sér. Zool.* 92(1), 47-57.
- Vicens N, Bosch J, 2000. Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on ‘Red Delicious’ apple. *Environ. Entomol.* 29, 235-240.
- Watmough RH, 1974. Biology and behaviour of carpenter bees in southern Africa. *J. Entomol. Soc. South. Afr.* 37, 261-281.
- Wcislo WT, Cane JH, 1996. Floral resource utilization by solitary bees (Hymenoptera: Apoidea) and exploitation of their stored foods by natural enemies. *Annu. Rev. Entomol.* 41, 257-86.
- Yanega D, 1990. Philopatry and nest founding in a primitively social bee, *Halictus rubicundus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 42, 27- 37.

Yamamoto M, 2009. Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, freqüência de visitantes e a conservação de áreas naturais. PHD Thesis. Universidade Federal de Uberlândia-UFU (Uberlândia, MG).

Zar JH, 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, New Jersey.

Capítulo 2

Efeito do manejo de polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) na produção de frutos em cultivos comerciais no sudeste brasileiro

Efeito do manejo de polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener) na produção de frutos em cultivos comerciais no sudeste brasileiro

*O capítulo foi preparado para submissão para a revista **Journal of Economic Entomology** e a formatação obedece parcialmente às normas do periódico.*

Introdução

A polinização assegura tanto a manutenção da variabilidade genética entre as espécies vegetais como a produção e a qualidade de diversas culturas agrícolas e, por isso, é considerada um dos principais serviços ecossistêmicos (Kremen 2005, Breeze et al. 2011). Em relação aos agroecossistemas foi estimado que mais de 70% dos cultivos tropicais, 84% dos cultivos europeus e, mundialmente, 70% das culturas que são fonte de micronutrientes dependam da polinização animal para sua produção (Roubik 1995, Williams 1994, Eilers et al. 2011).

As abelhas destacam-se como os principais agentes polinizadores de diversas espécies nativas e cultivadas pelo fato dos adultos e das crias alimentarem-se de pólen e néctar e por apresentarem constância floral, ou seja, em uma viagem de coleta, os indivíduos tendem a coletar pólen ou néctar, preferencialmente, de uma mesma espécie de planta (Rasmussen et al. 2010). O aumento da produtividade em diferentes cultivos agrícolas como girassol (Greenleaf e Kremen 2006) e acerola (Vilhena et al. 2012), maracujá (Yamamoto et al. 2012) e tomate (Hogendoorn et al. 2010) estão associados a abundância e a diversidade das comunidades de abelhas nativas.

É reconhecido o declínio de populações de polinizadores abaixo do nível sustentável tanto em áreas agrícolas como em áreas naturais. Devido a essa redução não é possível manter índices satisfatórios de polinização natural em agroecossistemas e em áreas naturais,

comprometendo assim a capacidade reprodutiva de espécies vegetais nativas e reduzindo a produção agrícola (Kremen et al. 2002). Os principais fatores para o declínio dos polinizadores incluem a fragmentação e a perda de habitat e práticas agrícolas como expansão de áreas cultivadas e utilização indiscriminada de pesticidas (Fao 2004, Freitas e Pinheiro 2010).

A valoração dos serviços de polinização e o efeito da fragmentação de habitat nas populações de polinizadores explicitam a importância da comunidade de abelhas como polinizadoras de culturas e o efeito compensatório de determinadas espécies diante de mudanças na composição da comunidade de abelhas devido à fragmentação florestal (Kremen 2002, Gallai et al. 2009, Brosi et al. 2007). Em cultivos de café, os fragmentos naturais potencializam a atividade de polinizadores e aumentam a produtividade em cerca de 20% (Ricketts 2004, Ricketts et al. 2004).

Para um adequado serviço de polinização em áreas de cultivo é necessário manter populações de polinizadores e para isso torna-se imprescindível aliar ações de conservação de áreas naturais que abrigam os requerimentos básicos relacionados ao habitat das abelhas como recursos alimentares, substratos de nidificação e material para construção dos ninhos (Gathmann e Tscharntke 2002) e o manejo desses polinizadores que inclui a introdução de indivíduos e oferta de substrato de nidificação em áreas de cultivo (Bosch e Kemp 2001).

Estima-se que 73% dos cultivos agrícolas mundiais sejam polinizados por alguma espécie de abelha (Fao 2004) e no Brasil, diversas culturas agrícolas dependem da polinização por abelhas, como acerola (*Malpighia emarginata* DC) e murici (*Byrsonima crassifolia* L.) que apresentam abelhas solitárias da tribo Centridini como os principais polinizadores (Vilhena et al. 2012, Pereira e Freitas 2002) e o morango (*Fragaria x ananassa* Duchesne) que apresenta a abelha social sem ferrão *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811 como principal polinizador (Malagodi-Braga e Kleinert 2004).

Dentre as espécies cultivadas, o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) destaca-se por ser uma espécie auto-incompatível e depender diretamente da polinização cruzada para a formação de frutos (Rêgo et al. 2000). As abelhas solitárias e facultativamente sociais do gênero *Xylocopa* são consideradas polinizadores efetivos dessa cultura por apresentarem tamanho e comportamento de forrageamento adequados e por serem facilmente manejadas em ninhos-armadilha (Camillo 2003).

O Brasil produz anualmente cerca de 664 mil toneladas de frutos de maracujá-amarelo, destacando-se como um dos maiores produtores e consumidores mundiais (Agriannual 2011). Entretanto, a produção do país não supre a demanda do mercado agroindustrial, havendo necessidade de importação de polpa de outros países para abastecer a indústria de suco nacional (Ferraz e Lot 2007).

A região do Triângulo Mineiro, localizada no sudeste do Brasil, é responsável por cerca de 85% da produção de maracujá-amarelo do estado de Minas Gerais destacando-se como região pólo no processamento de frutas (Agriannual 2011). Devido à baixa densidade de abelhas do gênero *Xylocopa* em áreas de cultivo na região (Yamamoto 2009) e no intuito de suprir a demanda de frutos do mercado regional, os produtores adotam a prática de polinização manual, que embora seja um método efetivo, representa um aumento de 12% nos custos de produção (Agriannual 2011).

A polinização está diretamente relacionada com a qualidade e tamanho dos frutos formados (Roubik 1995) e níveis ótimos de polinização refletem em aumento de produtividade e qualidade das características físico-químicas dos frutos em diversos cultivos agrícolas (Williams 2002, Serrano e Guerra-Sanz 2006, Vassière et al. 2011).

O sucesso reprodutivo do maracujá-amarelo não atingem níveis ideais em áreas com baixa densidade ou ausência de agentes polinizadores, exceto através da utilização de polinização manual (Camillo 2003). No entanto, o incremento da produção do maracujá-

amarelo pode ser alcançado através do manejo de polinizadores do gênero *Xylocopa*, uma vez que essas espécies são frequentemente atraídas a nidificar em substratos-armadilha (Camillo 2003, Pereira e Garófalo 2010, Chaves-Alves et al. 2011).

Sendo assim, o objetivo geral do trabalho foi avaliar a eficiência do manejo de ninhos de *Xylocopa frontalis* e *X. grisescens* no incremento da população de abelhas e da produção e qualidade de maracujá-amarelo em áreas de cultivos comerciais no sudeste do Brasil. Mais especificamente, pretende-se verificar se a introdução de ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) em áreas de cultivos promove: (i) incremento no número de abelhas nas áreas e, consequente aumento na taxa de visitação às flores do maracujá; (ii) redução na taxa de visitação de espécies pilhadoras; e (iii) aumento da produção e a qualidade dos frutos de maracujá-amarelo.

Material e Métodos

Áreas de Estudo

Os estudos foram conduzidos em seis áreas de cultivo comercial de maracujá-amarelo com área cultivada variando de 1,5 a 4,5 hectares, localizadas no município de Araguari, região do Triângulo Mineiro – MG, sudeste do Brasil e com distância mínima e máxima entre elas de 1,9 e 30 km, respectivamente. Testes preliminares de polinização natural foram realizados em todas as áreas e tais resultados foram utilizados para definição de áreas controle e experimentais (Tabela 1).

O estudo foi realizado durante período de floração do maracujá entre novembro de 2010 e junho de 2011. O clima da região é caracterizado como tropical e marcado por duas estações bem definidas, uma seca (abril a setembro) e uma chuvosa (outubro a março) (Rosa et al. 1991).

Tabela 1. Caracterização das áreas de estudo localizadas em Araguari, MG: coordenadas geográficas, tamanho em hectares (ha), porcentagem de formação de frutos por polinização natural (PN) e distância entre as áreas em quilômetros (km).

Áreas	Coordenadas	Tamanho (ha)	PN (%)	Distâncias (km)					
				1	2	3	4	5	6
1	18°36'15,69"S/ 48°15'25,34"O	3,0	4,17		6,2	11	19,2	11	5,5
2	18°33'4,92"S/ 48°17'37,26"O	2,0	10			8,3	14	17,2	1,9
3	18°32'9,50"S/ 48°17'18,50"O	4,0	8,33				10	21,15	7
4	18°32'55,04"S/ 48°20'40,68"O	4,5	17,74					30	14
5	18°32'55,27"S/ 48°26'59,73"O	1,5	14,73						16,3
6	18°34'55,70"S/ 48° 9'57,89"O	1,5	49,09						

Espécie Vegetal Estudada

O maracujá-amarelo é uma espécie originária dos neotrópicos e apresenta flores hermafroditas, grandes, coloridas, com produção de néctar abundante, protândricas e autoincompatíveis (Akamine e Girolami 1957, Bruckner et al. 1995). No Brasil, tal espécie cultivada com interesse econômico e seus frutos são utilizados na indústria de suco e no consumo *in natura* (Souza 2004). O período de floração do maracujá-amarelo na região do Triângulo Mineiro é de setembro/outubro a abril/maio (Yamamoto 2009).

A frutificação do maracujá-amarelo depende da polinização cruzada, ou seja, da transferência de pólen entre flores de indivíduos diferentes (Rêgo et al. 2000). Os agentes polinizadores efetivos do maracujá-amarelo são espécies do gênero *Xylocopa* devido ao tamanho e comportamento de forrageamento adequados (Camillo 2003) e os principais

pilhadores são *A. mellifera* e espécies da tribo Meliponini que apresentam porte menor e não tocam as estruturas reprodutivas das flores durante a coleta de pólen e néctar (Sazima e Sazima 1989, Siqueira et al. 2009).

Espécies Animais Estudadas

As abelhas do gênero *Xylocopa* (Apidae, Xylocopini) congregam mais de 730 espécies, com maior diversidade nos trópicos e subtrópicos (Gerling et al. 1989) e 50 espécies são descritas no Brasil (Silveira et al. 2002). A maioria das espécies constrói ninhos escavando tecidos vegetais secos, sem fendas ou rachaduras, tais como árvores ou troncos mortos, caules ocos e ninhos armadilha confeccionados com gomos de bambu (Camillo e Garofalo 1982, Camillo 2003). Na região do Triângulo Mineiro foram observadas quatro espécies de *Xylocopa* reconhecidas como polinizadoras do maracujá-amarelo, *Xylocopa (Neoxylocopa) hirsutissima* Maidl 1912, *X. (Neoxylocopa) suspecta* Moure e Camargo 1988; *X. (Neoxylocopa) frontalis* (Olivier, 1789) e *X. (Neoxylocopa) grisescens* Lepeletier, 1841.

Dentre essas espécies, *X. frontalis* e *X. grisescens* destacam-se por nidificarem em ninhos-armadilha confeccionados com gomos de bambu (Pereira e Garofalo 2010, Chaves-Alves et al. 2011), por apresentarem porte semelhante e sobreposição de horário de forrageamento em áreas de cultivo de maracujá-amarelo (Yamamoto 2009).

Procedimentos

Para avaliar o efeito da introdução de ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*), as áreas de estudo foram classificadas em ordem crescente de acordo com a porcentagem de polinização natural de cada área. Foram estabelecidas três áreas

experimentais (Área 1, 3 e 5) nas quais foi realizada a introdução de ninhos e três áreas controle (Área 2, 4 e 6) nas quais não realizou-se a introdução de ninhos.

Introdução de ninhos de polinizadores e oferta de substrato de nidificação em áreas experimentais

Em cada uma das áreas experimentais foi confeccionado um rancho entomológico, constituído por caibros de madeira com cobertura de lona plástica com 1,8 m de altura e 1 m de largura. Nesses ranchos foram disponibilizados 48 ninhos-armadilha, fechados em uma das extremidades pelo próprio nó e com diâmetro variando de 1,8 a 2,2 cm. A seleção do intervalo de diâmetro dos ninhos-armadilha está de acordo com o intervalo de maior ocupação de espécies de *Xylocopa* no mesmo tipo de ninho-armadilha (Chaves-Alves 2009). Os ninhos-armadilha foram colocados em orifícios existentes em tijolos do tipo “baiano”, os quais funcionaram como suporte, dispostos horizontalmente em prateleiras construídas no rancho entomológico. O acesso de formigas foi impedido com a aplicação de Tanglefoot® no suporte do rancho.

Além da oferta de substrato para a fundação de novos ninhos, ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* já estabelecidos foram retirados de uma área de criação distante cerca de 60 km e introduzidos nas áreas de estudo experimentais.

Para determinar a quantidade de ninhos introduzidos em cada área de estudo experimental, levando-se em conta a presença de apenas uma fêmea no ninho, utilizou-se como base o patamar superior de polinização natural do maracujá-amarelo que é de cerca de 25% (Camillo 2003, Oliveira-Filho e Freitas 2003), os dados de estudo realizado no estado de São Paulo que alcançou um incremento na polinização natural de 700% com a introdução de 25 ninhos de *Xylocopa* spp. por hectare (Camillo 2003) e os dados de permanência de fêmeas

transferidas de *X. frontalis* e *X. grisescens*, que apresentaram porcentagem de permanência de 50% e 60% (ver Capítulo 1).

Desse modo, com o intuito de aumentar a polinização natural em 50% em cada área de estudo são necessários dois ninhos por hectare e estimando uma permanência mínima das fêmeas transferidas de 50%, determinou-se a transferência de quatro ninhos por hectare.

Durante o período de floração do maracujá-amarelo (março/2011), foi introduzido um total de 36 ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* nas três áreas experimentais, selecionados de acordo com o estágio de desenvolvimento e com a presença de apenas uma fêmea por ninho (Tabela 2).

Tabela 2. Quantidade de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* com células de cria e sem células de cria introduzidos na área de estudo experimental localizadas em Araguari – MG, de acordo com o tamanho da área de cultivo em hectares (ha).

	Tamanho da área de cultivo (ha)	Ninhos (<i>X. frontalis</i> e <i>X. grisescens</i>)	
		Com Células	Sem Células
Área 1	4,5	6	12
Área 3	3	4	8
Área 5	1,5	3	3

As fêmeas presentes nos ninhos introduzidos foram previamente marcadas com placas numeradas coladas no mesotórax com cola permanente (Yamamoto 2009) para monitorar a presença das fêmeas nesses ninhos, visualizar eventuais trocas de ninhos e novas fundações.

Efeito do manejo de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) na taxa de visitação dessas espécies e de espécies de pilhadores (*Apis mellifera* e espécies de Meliponini), nos requerimentos de polinização e nos parâmetros físico-químicos dos frutos

A taxa de visitação de polinizadores e de pilhadores bem como os tratamentos de polinização e posterior caracterização físico-química dos frutos foram realizados em todas as áreas de estudo antes da introdução de ninhos de polinizadores, em janeiro de 2011 (T_0) e após a introdução de ninhos, em abril de 2011 (T_1) nas áreas experimentais e controle.

O cultivo de maracujá-amarelo na área controle 2 foi cortado após a primeira observação (T_0), impossibilitando a continuidade dos experimentos nesta área.

Taxa de visitação de polinizadores e pilhadores

A taxa de visitação de polinizadores foi calculada como o número de visitas pelo número de flores abertas pelo tempo de observação (Winfrey et al. 2008). Os valores obtidos antes (T_0) e depois da introdução dos ninhos de polinizadores (T_1) foram comparados.

A taxa de visitação de polinizadores e de pilhadores em cada área de cultivo de maracujá-amarelo foi obtida pelo método de censo em transecto. Os censos foram conduzidos durante o pico de floração de 2011 (janeiro, março e abril) entre 12h30min e 17h30min, intervalo que coincide com a abertura das flores e período de maior atividade dessas espécies (Yamamoto 2009). Foram estabelecidos dois transectos de 50 m, seguindo as linhas de cultivo em cada uma das áreas, sendo que cada trecho foi percorrido por 10 min, preferencialmente os minutos iniciais de cada hora, totalizando 20 min de amostragem por hora e totalizando 28 horas de amostragem em todas as áreas de estudo. Durante o censo, as flores abertas foram contadas e vistoriadas quanto à presença de polinizadores e pilhadores.

Requerimentos de polinização e caracterização físico-química dos frutos

Para verificar a formação natural de frutos durante o período de floração, em cada área de cultivo, 70 flores abertas foram escolhidas aleatoriamente, nos mesmos transectos utilizados nos censos e marcadas com fitas coloridas para observação de formação de frutos. A formação de frutos também foi avaliada através de tratamentos de polinização manual cruzada em 70 flores, pelo menos uma hora após a abertura das flores, utilizando plantas diferentes do mesmo pomar como doadoras de pólen. Para os tratamentos de polinização, foram escolhidas flores com curvatura total dos estiletes, distribuídas em plantas diferentes e foram feitos ambos os tratamentos na mesma planta.

A formação de frutos foi observada 15 dias após o tratamento de polinização e a frutificação inicial foi escolhida como medida de produção, já que não há diferença na frutificação inicial e final para o maracujá-amarelo (Yamamoto 2009).

A qualidade dos frutos oriundos de ambos os tratamento de polinização foi analisada cerca de 55 dias após os tratamentos de polinização. Para a análise física dos frutos foi contabilizado o número de sementes e calculado o rendimento (massa da polpa/massa da casca) e a porcentagem de polpa ((massa total – massa da casca)/massa total), de acordo com Leone (1990).

Para obtenção da relação sólidos solúveis/acidez total titulável (relação SS/ATT), calculou-se o teor de sólidos solúveis através da amostra da polpa de cada fruto utilizando-se refratômetro manual com resultados expressos em °Brix e a acidez titulável foi determinada através de titulação em triplicata para cada amostra com solução padronizada de álcali (NaOH – 0,1 mol.L⁻¹), empregando a solução de fenolftaleína como o indicador do ponto final da titulação ácido-base. Para esta determinação, 1,00 g de amostra de polpa de maracujá-amarelo foi dissolvida em 50 mL de água destilada, seguida da adição de duas gotas de fenolftaleína 1% (massa/volume).

Análise dos dados

Para análise dos dados, foram considerados como amostras os dias nos quais foram realizados os tratamentos de polinização e o censo em transecto (T_0 e T_1). A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Liliefors) ($p>0,05$) e para os dados que não puderam ser normalizados foram utilizados testes não-paramétricos. Os valores de médias apresentados são seguidos pelos valores de desvio padrão.

Para comparar o número de células nos ninhos nos quais as fêmeas permaneceram e nos quais houve o abandono das fêmeas utilizou-se o teste de Mann-Whitney.

Para comparar a taxa de visitação de polinizadores e pilhadores, a formação de frutos de cada tratamento de polinização e os parâmetros acerca da caracterização físico-química dos frutos foram utilizados o testes t e o teste de Mann-Whitney

A análise dos dados foi realizada com o pacote estatístico Systat 10.2[®] (2002), de acordo com Zar (1999).

Resultados

Introdução e fundação de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens*

Dos 36 ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) introduzidos nas áreas de estudo experimentais, as fêmeas permaneceram em 52,8 % ($n=19$) dos ninhos. Observou-se uma maior permanência das fêmeas (84,6%) nos ninhos introduzidos com células de cria ($1,06 \pm 1,18$ células) comparado com a permanência das fêmeas nos ninhos introduzidos sem célula de cria ($0,18 \pm 0,53$ células) ($U_{0,05(2)16,19}=81,5$, $p=0,007$) (Tabela 3).

Tabela 3. Porcentagem de permanência das fêmeas de *X. frontalis* e *X. grisescens* cerca de trinta dias após a transferência dos ninhos ($n=36$) para áreas de cultivo comercial de maracujá-amarelo, no município de Araguari-MG, de acordo com a presença ou não de

células de cria nos ninhos (CC: célula de cria e n=fêmeas que permaneceram nos ninhos introduzidos/total de ninhos introduzidos).

	Permanência		
	Com CC (%)	Sem CC (%)	Total (%)
Área 1	83,3 (n=5/6)	16,7 (n=2/12)	38,9 (n=7/18)
Área 3	75 (n=3/4)	62,5 (n=5/8)	66,7 (n=8/12)
Área 5	100 (n=3/3)	33,3 (n=1/3)	66,7 (n=4/6)

Durante o período de estudo, além dos ninhos introduzidos, observou-se a fundação de novos ninhos em todas as áreas experimentais ($n_{\text{Área 1}}=3$; $n_{\text{Área 3}}=3$ e $n_{\text{Área 5}}=4$). As áreas experimentais 1, 3 e 5 apresentaram incremento de 42,8%, 37,5% e 100%, respectivamente, em relação ao número de ninhos introduzidos e nos quais as fêmeas permaneceram (Tabela 3).

Efeito do manejo de ninhos na taxa de visitação de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) e pilhadores

A taxa de visitação de *X. frontalis* e *X. grisescens* apresentou aumento significativo nas áreas experimentais 3 e 5 (Área 3: $U_{0,05(2)5,5}=2,5$ $p=0,018$; Área 5: $t_{0,05(2)4}=-4,65$, $p<0,001$) e na área experimental 1 não houve diferença significativa na taxa de visitação de polinizadores ($U_{0,05(2)6,6}=12$, $p=0,140$) (Figura 1).

A taxa de visitação de pilhadores apresentou redução significativa após a introdução de polinizadores nas áreas experimentais 1 e 5 (Área 1: $U_{0,05(2)6,6}=34,5$, $p=0,005$; Área 5: $U_{0,05(2)6,5}=30$, $p=0,006$) e na área experimental 3 não houve diferença significativa na taxa de visitação de pilhadores ($t_{0,05(2)8}=0,671$, $p=0,52$) (Figura 1).

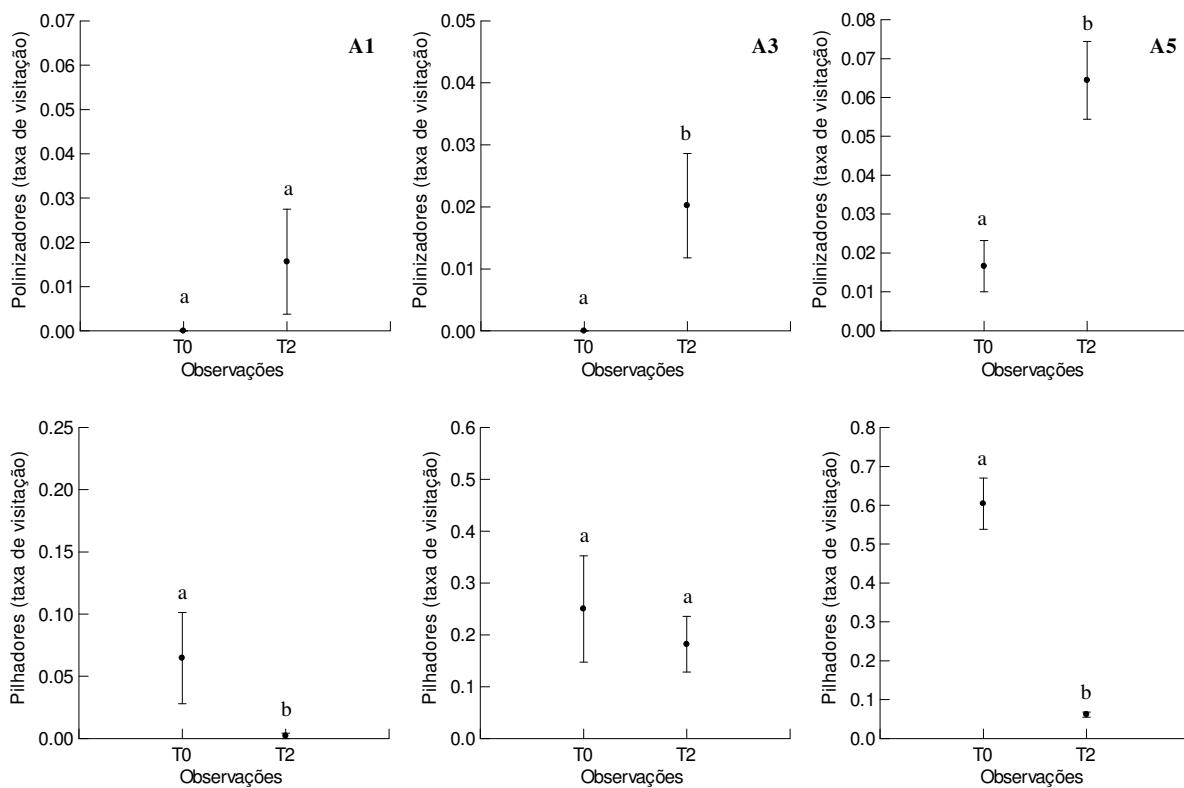


Figura 1. Variações na taxa de visitação de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) e pilhadores (*A. mellifera* e espécies da tribo Meliponini) antes (T₀) e após (T₁) a introdução de ninhos de polinizadores (A1: área experimental 1; A3: área experimental 3; A5: área experimental 5) (letras sobreescritas indicam igualdade ou diferença de médias entre as amostragens).

Na área controle 4 não foi observado nenhum indivíduo de *X. frontalis* e *X. grisescens* nos dois períodos de observação e na área controle 6, a taxa de visitação de polinizadores não apresentou diferença significativa entre T₀ (0,02±0,01) e T₁ (0,02±0,02) (Área 6: U_{0,05(2)5,6}=9, p=0,26). A taxa de visitação de pilhadores também não apresentou diferença significativa durante o período de observação nas duas áreas controle (Área 4: T₀=0,43±0,23 e T₁ =0,30±0,09, t_{0,05(2)10}=1,26, p=0,23; Área 6: T₀=0,51±0,36 e T₁= 0,20±0,20, t_{0,05(2)9}=1,18, p=0,27).

Requerimentos de polinização

Os dados relativos a porcentagem de polinização natural nas amostragens das áreas experimentais 1 e 3 não foram analisados estatisticamente devido ao baixo número amostral de frutos formados. Em contrapartida, na área experimental 5 houve aumento significativo na polinização natural ($U_{0,05(2)119,132}=5354$, $p<0,001$) após a introdução dos ninhos de polinizadores.

Em relação à porcentagem de polinização manual cruzada, a área experimental 1 apresentou redução significativa entre os períodos de amostragem ($U_{0,05(2)119,145}=10685$, $p<0,001$) enquanto que as áreas experimentais 3 e 5 não apresentaram diferenças significativas (Área 3: $U_{0,05(2)112,130}=7510$, $p=0,52$; Área 5: $U_{0,05(2)120,150}=8265$, $p=0,13$).

Em relação às áreas controle, na área controle 4 a porcentagem de polinização natural não apresentou diferença significativa ($U_{0,05(2)124,97}=6027$, $p=0,97$) enquanto que a porcentagem de polinização manual cruzada aumentou significativamente ($U_{0,05(2)126,142}=6633$, $p<0,001$) e na área controle 6, a porcentagem de polinização natural não foi avaliada estatisticamente devido ao insuficiente número amostral e a porcentagem de polinização manual cruzada apresentou redução significativa ($U_{0,05(2)131,137}=12215$, $p<0,001$).

Caracterização físico-química dos frutos

A análise dos parâmetros físico-químicos dos frutos foi realizada somente com os dados obtidos na área experimental 5 e na área controle 4 devido ao baixo número de frutos formados nas demais áreas de estudo.

A área experimental 5, apresentou aumento significativo de todos os parâmetros avaliados após a introdução de ninhos de polinizadores (Número de sementes: $t_{0,05(2)14}=-2,76$ $p<0,001$; Relação SS/ATT: $U_{0,05(2)10,6}=0$, $p<0,001$; Rendimento: $t_{0,05(2)14}=-3,20$, $p<0,001$; e % de Polpa: $U_{0,05(2)10,6}=6$, $p<0,009$) (Tabela 4, Figura 2).

Nos frutos oriundos de tratamentos de polinização manual cruzada, apenas a relação SS/ATT apresentou aumento significativo ($U_{0,05(2)10,7}=10$, $p=0,015$) e os demais parâmetros não apresentaram diferenças significativas após a introdução de ninhos de polinizadores (Número de sementes: $t_{0,05(2)15}=-0,71$, $p=0,49$; Rendimento: $t_{0,05(2)15}=-0,13$, $p=0,89$ e % de Polpa: $U_{0,05(2)10,7}=39$, $p=0,70$) (Tabela 4).

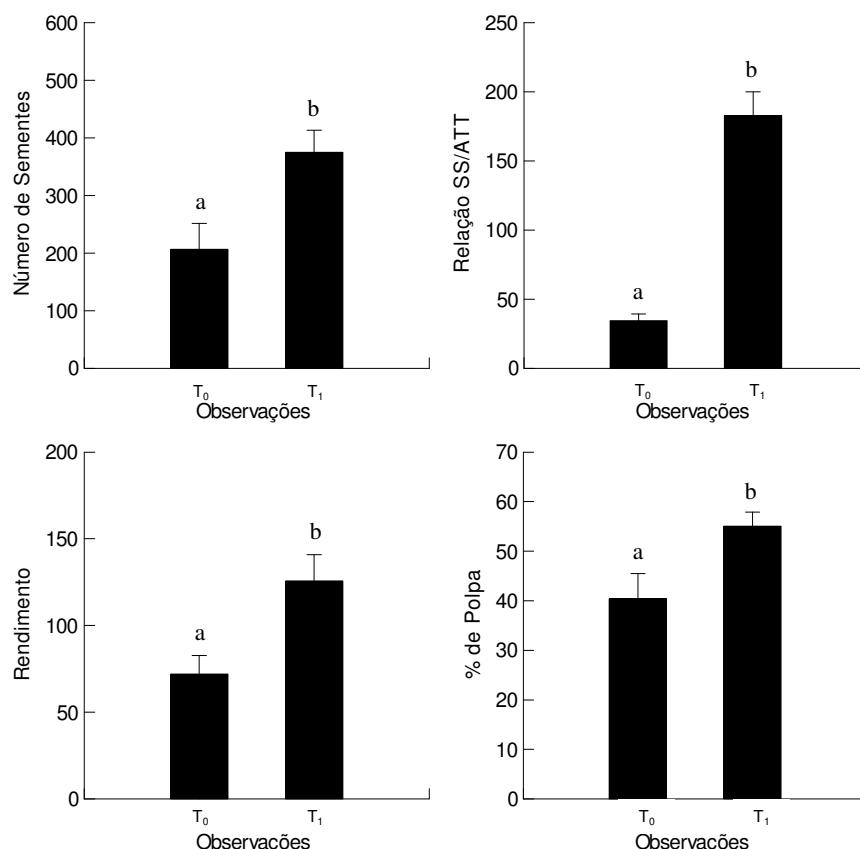


Figura 2. Variação nos parâmetros físico-químicos dos frutos oriundos de polinização natural na área experimental 5 antes (T₀) e após (T₁) a introdução de ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. grisescens*) (média com letras iguais não diferem significativamente; N° de sementes: número de sementes, Relação SS/ATT: relação sólidos solúveis/acidez total titulável, Rendimento: rendimento da polpa e % de Polpa: porcentagem de polpa).

Tabela 4. Número de sementes, relação sólidos solúveis/acidez total titulável (relação SS/ATT), rendimento e porcentagem de polpa (% de polpa) de acordo com o tratamento de polinização antes (T_0) e após (T_1) a introdução de ninhos de polinizadores (*X. frontalis* e *X. griseascens*) na área experimental 5 e na área controle 4. (Letras sobreescritas indicam igualdade ou diferença de médias entre as amostragens). PN: polinização natural e PMC: polinização manual cruzada.

		Número de Sementes	Relação SS/ATT	Rendimento	% de Polpa
PN					
Área Experimental 5	T_0	206,7±133,6 ^a	34,5±14,7 ^a	72±32,1 ^a	40,4±15,2 ^a
	T_1	375,2±84,2 ^b	183,0±37,5 ^c	125,7±33,3 ^b	55,1±6,3 ^b
Área Controle 4	T_0	240,3±131,9 ^a	47,6±23,9 ^a	82,1±49,1 ^a	40,6±21,2 ^a
	T_1	257,6±125,8 ^a	142,0±15,0 ^b	76,0±20,9 ^a	42,6±8,1 ^a
PMC					
Área Experimental 5	T_0	259,9±100,25 ^a	42,08±12,33 ^a	80,16±26,52 ^a	43,76±7,91 ^a
	T_1	220,29±129,56 ^a	132,65±65,47 ^b	78,04±38,81 ^a	28,77±27,02 ^a
Área Controle 4	T_0	187,86±86,12 ^a	50,83±9,47 ^a	78,70±14,79 ^a	43,94±4,28 ^a
	T_1	262,78±111,92 ^a	140,92±30,73 ^b	94,96±24,76 ^a	48,10±7,06 ^a

A área controle 4 não apresentou diferença significativa no número de sementes, no rendimento e na porcentagem de polpa tanto nos tratamentos de polinização natural (Número de sementes: $t_{0,05(2)11}=-0,24$, $p=0,81$; Rendimento: $t_{0,05(2)11}=0,3$, $p=0,77$; % de Polpa: $U_{0,05(2)6,7}=25$, $p=0,57$) quanto nos tratamentos de polinização manual cruzada (Número de sementes: $t_{0,05(2)171}=-1,57$, $p=0,13$; Rendimento: $U_{0,05(2)12,7}=26$, $p=0,18$ e % de Polpa: $U_{0,05(2)12,7}=26$, $p=0,18$), já a relação SS/ATT apresentou aumento significativo tanto no tratamento de polinização natural ($t_{0,05(2)11}=-8,67$, $p<0,001$) quanto de polinização manual cruzada ($U_{0,05(2)12,7}=0$, $p<0,001$) (Tabela 5).

Discussão

A introdução de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* em áreas de cultivo de maracujá-amarelo foi bem sucedida em relação à permanência das fêmeas nos ninhos após as transferências e fundação de novos ninhos nas áreas experimentais. A permanência das fêmeas nos ninhos após as transferências foi superior a 50%, considerando todas as áreas experimentais e o total de ninhos introduzidos, valor também encontrado em outros estudos com o manejo de espécies do gênero *Xylocopa* (Freitas e Oliveira-Filho 2001, Pereira 2002, Bernardino 2008, Junqueira et al. dados não publicados). As maiores porcentagens de permanência (cerca de 80%) estão relacionadas à presença de células de cria nos ninhos, o que pode ser explicado pela consequente perda de investimento energético ao abandonar essas células (Strohm e Linsenmair 2000).

Tal sucesso pode ser atribuído, entre outros aspectos, ao hábito alimentar generalista dessas espécies (Keasar 2010). O maracujá-amarelo é fonte apenas de néctar para *X. frontalis* e *X. grisescens* e a utilização de fontes alternativas de pólen está associada ao forrageamento em fragmentos com limitadas fontes de recursos alimentares, como o entorno de áreas de cultivo de maracujá-amarelo (Klink e Machado 2005). O sucesso de permanência das fêmeas de *Xylocopa* spp. após a transferência dos ninhos, também demonstra uma grande capacidade de reorientação dessas fêmeas. A localização e o reconhecimento de ninhos em abelhas solitárias envolvem informações visuais e químicas (Fauria e Campan 1998). Os resultados encontrados nesse estudo sugerem que para *Xylocopa* spp., informações químicas podem apresentar um papel importante na permanência das fêmeas, uma vez que a transferência altera as informações visuais e espaciais acerca da localização do ninho.

O incremento no número de ninhos transferidos por meio da fundação de novos ninhos nas áreas de estudos experimentais está relacionado à oferta de substrato de nidificação, pois há uma comprovada limitação de recursos de nidificação para espécies do gênero *Xylocopa*

em áreas de cultivo (Pereira e Garófalo 2010, Keasar 2010). Além disto, já foi já descrito para *X. frontalis* e *X. grisescens* e para outras espécies de abelhas solitárias a ocorrência de comportamento filopátrico, no qual as fêmeas apresentam tendência de nidificar em locais próximos ao ninho materno podendo inclusive reutilizá-lo (Antonini et al. 2000, Camillo 2003, Junqueira et al. dados não publicados)

No Brasil é observada uma baixa densidade de *Xylocopa* spp. em áreas de cultivo de maracujá-amarelo (Camillo 2003, Freitas e Oliveira-Filho 2001). Nesse estudo, não foi observado nenhum indivíduo de *X. frontalis* e *X. grisescens* durante a primeira amostragem em três áreas de estudo e nas demais áreas observou-se uma baixa taxa de visitação dessas espécies, provavelmente devido ao reduzido tamanho populacional destas abelhas nas áreas estudadas, ocasionada provavelmente pelo desmatamento para aumento das áreas cultiváveis. Embora a proporção de áreas de vegetação natural no entorno dos cultivos (Greenleaf e Kremen 2006) não tenha sido investigada, sabe-se que as áreas comerciais de maracujá-amarelo utilizadas nesse estudo estão inseridas no Cerrado, bioma com histórico de fragmentação devido expansão agropastoril (Klink e Machado 2005). Desse modo, as baixas populações de polinizadores nativos nessas áreas podem estar associadas a proporções de remanescentes naturais, como já observado para outras culturas (Kremen et al. 2002, Ricketts 2004). Contudo, o sucesso na permanência e fundação de novos ninhos com a oferta de substrato de nidificação, mostra que estas áreas podem ser recuperadas quanto ao incremento de polinizadores, especialmente com a utilização de abelhas com comportamento alimentar generalista como as espécies estudadas.

O manejo de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* resultou no incremento significativo da taxa de visitação de polinizadores em duas áreas de cultivo de maracujá-amarelo (área experimental 3 e 5). A introdução de quatro ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* por hectare, nessas áreas experimentais, que também apresentaram inicialmente

maiores porcentagens de polinização natural, foi suficiente para aumentar significativamente a taxa de visitação, comprovando que a introdução de ninhos aliada à oferta de substrato de nidificação são eficientes no manejo dessas espécies e representam um avanço na utilização sustentável desses polinizadores (Keasar 2010). O incremento da densidade de polinizadores já foi observado com a utilização de ninhos racionais (baseados em colméia de Langstroth) de *X. frontalis* em cultivo de maracujá-amarelo localizados no nordeste do Brasil (Freitas e Oliveira-Filho 2003) e nos Estados Unidos, com o manejo de espécies solitárias da família *Megachilidae* utilizando diferentes ninhos-armadilha (cavidades pré-existentes confeccionados com tubos de cartolina e madeira) em cultivos de maçã, amêndoas e alfafa (Torchio 1984, Bosch e Kemp 2001, Bosch e Kemp 2002).

O sucesso destes estudos está associado com a introdução da quantidade ideal de ninhos de polinizadores para alcançar aumentos significativos nos índices de polinização natural. No presente trabalho, a quantidade de ninhos introduzida em uma área com déficit de polinizadores e baixo índice de polinização natural (área experimental 1) não foi satisfatória para aumentar significativamente a taxa de visitação e a produção de frutos. Estudos realizados em cultivo de maracujá, localizado no estado de São Paulo, com porcentagem de polinização natural de 3%, demonstrou que a introdução de 25 ninhos por hectare aumentou a produção em 700% (Camillo 2003), enquanto que outro estudo semelhante realizado em área de cultivo no Ceará, com porcentagem de polinização natural de 13%, a introdução de sete ninhos por hectare resultou num aumento de 92% na produção (Freitas e Oliveira-Filho 2003). Tais resultados sugerem que, além do tamanho das áreas, o cálculo do número de ninhos introduzidos para atingir um aumento significativo na taxa de visitação de polinizadores e na produção de frutos deve ser realizado considerando, principalmente, os níveis de polinização naturais apresentado pelos cultivos agrícolas (Delaplane e Mayer 2000, Imperatriz-Fonseca et al. 2006).

A presença de pilhadores apresenta efeito negativo na produção do maracujá-amarelo, uma vez que os danos causados às flores e a redução da disponibilidade de néctar e até mesmo a presença de pilhadores pode reduzir a frequência e o tempo de visitas dos polinizadores (Sazima e Sazima 1989). Nesse estudo, a taxa de visitação de pilhadores foi superior à de polinizadores em todos os períodos de observação, o que está associado ao hábito social de *A. mellifera* e das espécies da tribo Meliponini consideradas nesse estudo, que apresentam colônias numerosas e forrageamento em grupo (Silveira et al. 2002). No entanto, houve uma redução nestas taxas em duas áreas experimentais após a introdução de ninhos de *X. frontalis* e *X. griseascens*, o que pode estar relacionado a uma maior competição por néctar, já que tais espécies apresentam grande porte e maior ingestão calórica e, por isso, visitam uma maior quantidade de flores para suprir a demanda energética (Gathmann e Tscharnke 2002).

Estudos realizados em áreas de cultivos de maracujá-amarelo apontam que a densidade de pilhadores é mais alta no período inicial (setembro/novembro) e final da floração (maio/junho), provavelmente relacionado à disponibilidade de recursos alimentares no entorno das áreas de cultivo nesse período (Yamamoto 2009, Benevides et al. 2009). O período de amostragem desse estudo foi realizado no pico de floração (janeiro a abril) reduzindo o efeito do aumento da densidade no início e no final da floração, fato comprovado pela ausência de variação significativa na taxa de visitação de pilhadores nas áreas de estudo controle. Tal resultado corrobora a hipótese de que o aumento da taxa de visitação de *X. frontalis* e *X. griseascens* apresentou efeito negativo na taxa de visitação de pilhadores.

Observou-se uma variação na produção de frutos em ambos os tratamentos de polinização tanto nas áreas experimentais quanto nas áreas controle. A variação na produção de frutos através de polinização manual cruzada pode estar associada a uma realocação de energia da planta para compensar a produção total de frutos (Snow e Whigham 1989), já a

variação na produção através de polinização natural está relacionada à presença de abelhas e sua eficiência de polinização (Williams 2002, Kevan 1999).

O aumento na taxa de visitação de polinizadores não foi observado em um das áreas experimentais (área 1) e na área experimental 3, o aumento na taxa de visitação de *X. frontalis* e *X. grisescens* não foi acompanhado por um incremento na produção de frutos. A hipótese mais provável é que nestas áreas a quantidade de polinizadores introduzidos pode não ter sido suficiente para incrementar a quantidade de polinizadores e consequentemente a produção por meio da polinização natural. Outro aspecto que pode ter influenciado os resultados, é o fato de que nestas áreas ocorreu intenso uso de agrotóxicos na tentativa de minimizar focos de doença durante o período de estudo (C. N. Junqueira, observação pessoal). O uso intensivo de agrotóxicos apresenta efeito negativo na taxa de visitação de polinizadores e na produção de frutos (Ruggiero 1987, Fox et al. 2007).

A polinização é responsável pelo incremento de outros atributos da produção agrícola, além do número de frutos, como a quantidade e qualidade das sementes, tamanho, massa, teor de açúcares e acidez dos frutos (McGregor 1976, Delaplane e Mayer 2000, Vaissière et al. 2011). Nesse estudo, verificou-se que o incremento na taxa de visitação de polinizadores em uma das áreas experimentais promoveu um aumento significativo do número de sementes, rendimento do fruto e porcentagem de polpa nos frutos formados através de polinização natural. Tais parâmetros não apresentaram diferença significativa nos frutos provenientes de polinização manual cruzada e nem nos frutos provenientes de ambos os tratamentos na área controle, corroborando que o aumento na taxa de visitação de polinizadores está diretamente relacionado à eficiência de polinização e na qualidade dos frutos formados (Kevan 1999, Delaplane e Mayer 2000, Vaissière et al. 2011).

O aumento no número de sementes após a introdução de ninhos de polinizadores está associado ao aumento no número de visitas de *Xylocopa* spp. por flor, um maior número de

visitas é responsável por uma maior deposição de grãos de pólen no estigma e uma maior formação de sementes (Mello et al. 2006). A eficiência de polinização de *X. frontalis* e *X. grisescens* está relacionada ao tamanho corporal dessas espécies e na capacidade de transportar uma quantidade de grãos de pólen suficiente para formação de frutos após uma única visita (Akamine e Girolami 1957, Ruggiero 1987).

A produção de sementes estimula o desenvolvimento do fruto influenciando características como massa e tamanho do mesmo (Delaplane e Mayer 2000). Desse modo, o incremento no número de sementes após o manejo de ninhos apresentou efeito direto no rendimento e na porcentagem de polpa, uma vez que tais parâmetros levam em consideração a massa do fruto.

A relação SS/ATT apresentou aumento significativo nos frutos oriundos de polinização natural e manual cruzada nas áreas experimental e controle. Embora aspectos como massa do fruto e quantidade de sementes sejam associados com atributos químicos de frutos (Causse 2002), Shafique et al. (2011) não encontraram relação entre polinização natural e relação SS/ATT. Como o aumento da relação SS/ATT ocorreu de maneira independente ao manejo de polinizadores, tal aumento pode estar relacionado a outros fatores como práticas agrícolas, diferença sazonais, idade da planta e exposição dos frutos à luz e a temperatura (Verreyne et al. 2004, Shafique et al. 2011, Nascimento et al. 2003).

Esse estudo demonstra que a introdução de ninhos de *X. frontalis* e *X. grisescens* e a oferta de substratos de nidificação constituem técnicas de manejo eficientes, uma vez que foi possível manter e incrementar populações de *Xylocopa* spp. em áreas de cultivo, e mostra que este aumento tem efeito positivo na taxa de visitação de polinizadores e na produção e qualidade dos frutos, garantindo assim, serviços sustentados de polinização. No entanto, a ausência de aumento significativo em uma das áreas estudadas indica que outros parâmetros relacionados ao manejo de ninhos para a maior produtividade do maracujá-amarelo

necessitam ser investigados, como a influência dos índices de polinização natural na determinação da quantidade ideal de ninhos introduzidos nas áreas de cultivos, e como proporção de remanescentes naturais e as práticas agrícolas influenciam na densidade populacional das abelhas.

Referências Bibliográficas

- (AGRIANUAL) Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. 2011.** FNP, São Paulo, BR.
- Akamine, E. K., and G. Girolami. 1957.** Problems in fruit set in yellow passion fruit. *Hawaii Farm. Sci.* 14(2):3-4.
- Bosch, J., and W.P. Kemp. 2001.** How to manage the blue orchard bee, *Osmia lignaria*, as an orchard pollinator. Sustainable Agriculture Network, Washington, DC.
- Bosch, J., and W.P. Kemp. 2002.** Developing and establishing bee species as crop pollinators: the example of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. *Bull. Entomol.* 92: 3-16.
- Benevides, C.R., M.C. Gaglianone, and M. Hoffmann. 2009.** Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg., Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. *Rev. Bras. de Entom.* 53(3):415-421.
- Bernardino, A.S. 2008.** Biologia de nidificação e estratégias de manejo de *Xylocopa ordinaria* e *Xylocopa frontalis* (Hymenoptera, Apidae) no norte do Rio de Janeiro. Ph. D. dissertation, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
- Brosi, B.J., G. C. Daily, and P.R. Ehrlich. 2007.** Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecol. Appl.* 17: 418–430.
- Bruckner, C. H., V.W.D. Casali, C.F. Moraes, A.J. Regazzi, and E.A.M. Silva. 1995.** Self-compatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta. Hortic.* 370:45-57.
- Breeze, T. D., A.P. Bailey, K.G. Balcombe, S.G. Potts. 2011.** Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agric. Ecosyst. Environ.* 142:137-143.
- Camillo, E. 2003.** Polinização de maracujá. Holos Editora, Ribeirão Preto, SP.
- Camillo, E. and C.A. Garófalo. 1982.** On the bionomics of *Xylocopa frontalis* (Oliver) and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in southern Brazil. I- nest construction and biological cycle. *Rev. Bras. Biol.* 42:571-582.
- Causse, M.V., L. Saliba-Colombani, P. Lecomte, P. Duffe, M. Rousselle, and Q.T.L. Buret. 2002.** Analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *J. Exp. Bot.* 53:2089-2098.

- Chaves-Alves, T. M. 2009.** Nidificação de *Xylocopa* spp. (Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha em áreas de Cerrado do Triângulo Mineiro. M.S. Thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Chaves-Alves, T.M., C.N. Junqueira, L. S. Rabelo, P.E.A.M. Oliveira and S.C. Augusto. 2011.** Recursos ecológicos utilizados por las especies de *Xylocopa* (Hymenoptera, Apidae) en el área urbana. Rev. Colomb. Entomol. 37(2): 313-317.
- Delaplane, K.S., and D.F. Mayer. 2000.** Crop Pollination by bees. Entomol. Exp. Appl. 99:127-129.
- Eilers E.J., C. Kremen, S.S. Greenleaf, A.K. Garber, and A.M. Klein. 2011.** Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. PLoS One. 6:1-6.
- (FAO) Food and Agriculture Organization. 2004.** Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response, pp. 19-25. In: Freitas, B.M. and J.O.P. Pereira (eds.) Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination. Imprensa Universitária, Fortaleza, BR.
- Fauria K., and R. Campan. 1998.** Do solitary bees *Osmia cornuta* Latr. and *Osmia lignaria* Cresson use proximal visual cues to localize their nest? J. Insect Behav. 11: 649-669.
- Ferraz, J.V., and L. Lot. 2007.** Fruta para consumo in natura tem boas perspectivas de renda, pp. 387-394. In: Agriannual: Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. FNP, São Paulo, BR.
- Freitas, B.M., and J.H. Oliveira Filho. 2001.** Criação racional de mamangavas para polinização em áreas agrícolas. Banco do Nordeste , Fortaleza, BR.
- Freitas, B.M., and J.H. Oliveira Filho. 2003.** Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). Cienc. Rural. 33(6):1135-1139.
- Freitas, B.M., and J.N. Pinheiro. 2010.** Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no Manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. Oecol. Aust. 4(1):266-281.
- Fox, J.E., J. Gulleedge, E. Engelhaupt, M.E. Burow, J.A. McLachlan. 2007.** Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. Proc. Natl. Acad. Sci. 104(24):10282-10287.
- Gallai N., J.M. Salles, J. Settele, and B.E. Vaissière. 2009.** Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Ecol. Econ. 68:810-821
- Gathmann, A., and T. Tscharntke. 2002.** Foraging ranges of solitary bees. J. Anim. Ecol. 71:757-764.

- Greenleaf, S.S., and C. Kremen. 2006.** Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. P. Natl. Acad. Sci. USA, 103:13890-13895.
- Gerling, D., H.H.W. Velthuis, and A. Hefetz. 1989.** Bionomics of the large carpenter bees of the genus *Xylocopa*. Annu. Rev. Entomol. 34:163-190.
- Hogendoorn, K. F. Bartholomaeus and M. A. Keller. 2010.** Chemical and Sensory Comparison of tomatoes pollinated by bees and by a pollination wand. J. Econ. Entomol. 103(4):1286-1292.
- Imperatriz-Fonseca V.L., D. De Jong, and A.M. Saraiva. 2006.** Bees as Pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting the best practices. Holos ed., Ribeirão Preto, BR.
- Keasar, T. 2010.** Large Carpenter Bees as Agricultural Pollinators. Psyche, 2010:1-7
- Kremen, C. 2005.** Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Ecol. Lett. 8:468-79.
- 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. 99:16812-16816.
- Klink, C.A., and R.B. Machado. 2005.** Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv. Biol. 19(3):707-713.
- Kevan, P.G. 1999.** Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. Agric. Ecosyst. Environ. 74:373-393.
- Leone, N.R.F.M. 1990.** Polinização do maracujazeiro (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg.), em Araguari, MG. M.S. thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- McGregor, S.E., 1976.** Eggplant, pepper, tomato, pp. 213–215, 292-295, 357-361. In: Insect Pollination of Cultivated Plants. U.S.D.A. Washington, DC.
- Malagodi-Braga, K.S., and A.M.P. Kleinert. 2004.** Could *Tetragonisca angustula* Latreille (Apinae, Meliponini) be used as a strawberry pollinator in greenhouses? Aust. J. Agr. Res. 55:771-773.
- Mello, G.A.R., I.G. Varassin, A.O.S. Vieira, A.O. Menezes Jr, P. Löwenberg-Neto, D.F. Bressan, P.M. Elbl, P.A. Moreira, P.C. Oliveira, M.M.F. Zanon, H.G. Androcioli, D.S.M. Ximenes, N.S. Cervigne, J. Prado, and A.K. Ide. 2006.** Polinizadores de maracujás no Paraná. In: VII Encontro sobre Abelhas, Ribeirão Preto, SP.
- Nascimento, W.M.O., A.T. Tomé, M.S.P. Oliveira, C.H. Müller, and J.E.U. Carvalho. 2003.** Seleção de progêneres de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) quanto à qualidade de frutos. Rev. Bras. Frutic. 25(1):186-188.
- Oliveira-Filho, J. H., and B.M. Freitas. 2003.** Colonização e biologia reprodutiva de (*Xylocopa frontalis*) em um modelo de ninho racional. Cienc. Rural. 33(4): 693-697.

- Pereira, M. 2002.** Biologia de nidificação de *Xylocopa forntalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilhas. Ph.D. thesis. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.
- Pereira, J.O.P., and B. M. Freitas. (2002)** Estudo da biologia floral e requerimentos de polinização do muricizeiro (*Byrsonima crassifolia* L.). Rev. Ciênc. Agron. 33(2): 55-60.
- Pereira, M., and C.A. Garófalo. 2010.** Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. Oecol. Aust. 14:193-209.
- Rasmussen, C., J.C. Nieh, and J.C. Biesmeijer. 2010.** Foraging biology of neglected bee pollinators. Psyche. 2010:1-2.
- Rêgo, M.M., E.R. Rêgo, C.H. Bruckner, E.A.M. Da 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. 10:685-689.
- Ricketts, H.T. 2004.** Tropical forest fragments enhance pollinators activity in nearby coffee crops. Conserv. Biol. 18(5):1262-1271.
- Ricketts, H.T., G.C. Daily, P.R. Ehrlich, and C.D. Michener. 2004.** Economic value of tropical forest to coffee production. P. Natl. Acad. Sci. USA, 101(34): 12579-12582.
- Rosa, R., S.C.C. Lima, and W.L. Assunção. 1991.** Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). S & N. 3:91-108.
- Roubik, D.W. 1995.** Pollination of cultivated plants in the tropics. (FAO) Food and Agriculture Organization, Roma, IT.
- Ruggiero, C. 1987.** Cultura do maracujazeiro. FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP.
- Sazima, I., and Sazima, M. 1989.** Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e consequências para polinização do maracujá (Passifloraceae). Rev. Bras. Entomol., 33(1): 109-118.
- Serrano, A.R., and J.M. Guerra-Sanz. 2006.** Quality fruit improvement in sweet pepper culture by bumblebee pollination. Sci. Hortic-Amsterdam, 110:160-166.
- Shafique, M., A. S. Khan, A. U. Malik, M. Shahid, I. A. Rajwana, B. A. Saleem, M. Amin and I. Ahmad. 2011.** Influence of pollen source and pollination frequency on fruit drop, yield and quality of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) J. Bot.. 43:831-839.
- Snow, A.A., and D.F. Whigham. 1989.** Cost of flower and fruit production in *Tipularia discolor*. Ecology, 70:1286-1293.

- Strohm E., and K.E. Linsenmair. 2000.** Allocation of parental investment among individual offspring in the European beewolf *Philanthus triangulum* F. (Hymenoptera: Sphecidae). Biol. J. Linn. Soc. 69:73-192.
- Systat 10.2 Copyright. 2002.** SYSTAT Software Inc., Chicago, IL.
- Silveira, F.A.; Mello, G.A.R.; Almeida, E.A.B. 2002.** Abelhas brasileiras. Sistemática e Identificação. Fundação Araucária, Belo Horizonte, MG.
- Siqueira, K.M.M., Kiill L.H.P., Martins, C.F.M. I.B. Lemos, S.P. Monteiro, and E. de A. Feitoza. 2009.** Ecologia da polinização do maracujá-amarelo, na região do vale do submédio São Francisco. Rev. Bras. Frutic. v.31, n.1, p. 1-12, 2009.
- Torchio, P.F. 1984.** Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propinqua* Cresson (Hymenoptera: Megachilidae) in apple orchards. J. Kansas Entomol. Soc. 57:517–521.
- Vaissière, B.E., B.M. Freitas, and B. Gemmill-Herren. 2011.** Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. (FAO) Food and Agriculture Organization, Roma, IT.
- Vilhena, A.M.G.F., L.S. Rabelo, E.M.A. Bastos, and S.C. Augusto. 2012.** Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. Apidologie. 43(1):51-62.
- Verreyne, J.S., E. Rabe, and K.I. Theron. 2004.** Effect of bearing position on fruit quality of mandarin types. S. Afr. J. Plant Soil. 21(1):1-7
- Williams, I.H. 1994.** The dependence of crop production within the European Union on pollination by honey bees. Agr. Sci. Rev. 6:229-257.
- Williams, I. H. 2002.** Insect pollination and crop production: a european perspective *In:* Kevan, P., and V.L. Imperatriz-Fonseca (eds.), Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture And Nature. Ministry of Enviroment, Brasilia, DF.
- Winfree, R., N.M. Williams , H. Gaines, J.S. Ascher, C. Kremen. 2008.** Wild bee pollinators provide the majority of crop visitation across land-use gradients in New Jersey and Pennsylvania, USA. J. Appl. Ecol. 45(3):793–802.
- Yamamoto, M. 2009.** Polinizadores do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deneger, Passifloraceae) no Triângulo Mineiro: riqueza de espécies, freqüência de visitantes e a conservação de áreas naturais. Ph. D. Dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Zar, J.H. 1999.** Biostatistical analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Considerações Finais

O resultado desse trabalho corrobora a utilização sustentável de serviços de polinização para incrementar a produção agrícola e contribui para a consolidação de técnicas de manejo de abelhas solitárias do gênero *Xylocopa* em áreas de cultivo, com o objetivo e incrementar a qualidade e a produção de maracujá-amarelo, frutífera de grande interesse econômico no Brasil. Tal afirmativa é baseada nas seguintes conclusões:

- A oferta de substrato de nidificação e a introdução de ninhos de *X. frontalis* e *X. griseescens* constituem técnicas eficientes de manejo com o objetivo de manter e incrementar populações desses polinizadores em áreas pré-estabelecidas, incluindo áreas de cultivo comerciais.
- O sucesso do manejo de ninhos ocorreu principalmente devido as características comportamentais apresentadas pelas espécies estudadas, como hábitos alimentares generalistas, ao multivoltinismo e filopatria, bem como a atratividade do substrato-armadilha utilizado, o que refletiu na permanência das fêmeas nos ninhos manejados e na fundação de novos ninhos nas áreas de estudo.
- A introdução de ninhos com células de cria é uma técnica de manejo mais eficiente devido à maior porcentagem de permanência das fêmeas nesses ninhos e pode ser realizada ao longo do período de floração do maracujá-amarelo, já que a época de introdução não afeta a permanência das fêmeas nos ninhos.

- O manejo de ninhos em áreas comerciais de maracujá-amarelo apresentou um efeito positivo no aumento da taxa de visitação de polinizadores e na redução da taxa de visitação de pilhadores, aumentando a produção e a qualidade dos frutos formados.

- A quantidade ideal de ninhos (considerando a presença de uma fêmea por ninho) de *X. frontalis* e *X. grisescens* para atingir incremento na produção de maracujá-amarelo deve ser calculado considerando a densidade de polinizadores e índices de polinização natural, além do tamanho da área de cultivo usado no presente estudo.