



Universidade Federal de Uberlândia

Instituto de Biologia

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



**ADAPTAÇÃO E SERVIÇOS DE POLINIZAÇÃO DE *Melipona*
quadrifasciata LEPELETIER, 1836 (HYMENOPTERA,
MELIPONINA) EM CULTIVO FECHADO DE *Lycopersicon*
esculentum MILL. (SOLANACEAE)**

Bruno Ferreira Bartelli

2013

Bruno Ferreira Bartelli

**ADAPTAÇÃO E SERVIÇOS DE POLINIZAÇÃO DE *Melipona*
quadrifasciata LEPELETIER, 1836 (HYMENOPTERA,
MELIPONINA) EM CULTIVO FECHADO DE *Lycopersicon*
esculentum MILL. (SOLANACEAE)**

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

Profa. Dra. Fernanda Helena Nogueira Ferreira

UBERLÂNDIA

Fevereiro – 2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B283a Bartelli, Bruno Ferreira, 1988-
2013 Adaptação e serviços de polinização de *Melipona quadrifas-*
 ciata Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponina) em cultivo fe-
 chado de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae) / Bruno
 Ferreira Bartelli. - 2013.
 45 f. : il.

Orientadora: Fernanda Helena Nogueira Ferreira.

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

Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses. 2. Polinização por insetos - Teses. 3. Abe-
lhas sem ferrão - Teses. 4. Tomate - Teses. I. Ferreira, Fernanda
Helena Nogueira. II. Universidade Federal de Uberlândia. Progra-
ma de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos
Naturais. III. Título.

CDU: 574

Bruno Ferreira Bartelli

**ADAPTAÇÃO E SERVIÇOS DE POLINIZAÇÃO DE *Melipona*
quadrifasciata LEPELETIER, 1836 (HYMENOPTERA,
MELIPONINA) EM CULTIVO FECHADO DE *Lycopersicon*
esculentum MILL. (SOLANACEAE)**

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

APROVADA em 27 de fevereiro de 2013.

Profa. Dra. Maria José Campos – UNESP

Prof. Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira – UFU

Profa. Dra. Fernanda Helena Nogueira Ferreira – UFU (Orientadora)

UBERLÂNDIA

Fevereiro – 2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a vida que tenho, por me abençoar e me proteger sempre e por permitir a realização de mais um sonho.

À minha família, que é minha base de sustentação e que sempre me apoiou e forneceu a educação necessária, e à Sara por todo apoio e carinho. Obrigado por tudo, mas principalmente por fazerem de mim uma pessoa mais feliz.

À professora Fernanda Helena Nogueira-Ferreira, que, mais que uma orientadora, é uma amiga, quase uma mãe. Uma pessoa especial cujas orientações ultrapassam os muros da universidade. Obrigado pela confiança depositada em mim, pelo otimismo, pela alegria e por todos os ensinamentos.

Ao professor Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira pelas sugestões dadas ao trabalho e por aceitar participar da banca examinadora desta dissertação.

À professora Marcela Yamamoto, da Universidade Estadual de Goiás, pelas instruções nos experimentos de biologia floral e por todas as sugestões dadas ao trabalho.

À professora Maria José Campos, da Universidade Estadual de São Paulo, pela disponibilidade em participar da banca examinadora desta dissertação.

À professora Helena Maura Torezan Silingardi por aceitar participar como membro suplente da banca examinadora desta dissertação.

A todos os colegas e amigos do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas (LECA), mas em especial à Isabel e à Jaqueline pelas contribuições em campo e à Camila e ao Alexandre pela ajuda em todas as etapas do trabalho.

Aos agricultores Edson, Clóvis e João, que permitiram e deram todo o suporte para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia e a todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais que fizeram parte do meu processo de formação nesses dois anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

Aos meus amigos e a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que eu chegasse até aqui.

ÍNDICE

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
1. Introdução geral.....	1
1.1. Os serviços ecossistêmicos e a polinização.....	1
1.2. A importância das abelhas como polinizadores.....	2
1.3. O cultivo do tomateiro.....	2
1.4. Abelhas como polinizadores do tomateiro em ambientes protegidos.....	3
2. Objetivos e apresentação da dissertação.....	4
3. Referências bibliográficas.....	5
4. Capítulo 1: Manutenção de colônias e comportamento de forrageamento de <i>Melipona quadrifasciata</i> Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponina) em cultivo fechado de <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (Solanaceae).....	11
4.1. Resumo.....	11
4.2. Abstract.....	11
4.3. Introdução.....	12
4.4. Material e Métodos.....	14
4.5. Resultados.....	17
4.6. Discussão.....	23
4.7. Agradecimentos.....	26
4.8. Referências bibliográficas.....	26
5. Capítulo 2: Serviços de polinização prestados por <i>Melipona quadrifasciata</i> (Hymenoptera, Meliponina) em cultivos fechados de <i>Lycopersicon esculentum</i> (Solanaceae).....	29
4.1. Resumo.....	29
4.2. Abstract.....	29
4.3. Introdução.....	30
4.4. Material e Métodos.....	32
4.5. Resultados.....	35
4.6. Discussão.....	37
4.7. Agradecimentos.....	40
4.8. Referências bibliográficas.....	41
6. Conclusões gerais.....	45

RESUMO

Bartelli, B. F. Adaptação e serviços de polinização de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponina) em cultivo fechado de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae). Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia-MG. 45p.

Estudos envolvendo o manejo de polinizadores em casas de vegetação tem apontado uma melhora na produtividade e na qualidade dos frutos produzidos. As abelhas sem ferrão são consideradas as mais promissoras no uso como polinizadores comerciais, porém, o conhecimento sobre técnicas de manejo dessas abelhas em estufas ainda é escasso. Este estudo teve como objetivos avaliar a adaptação e a eficiência de polinização de *Melipona quadrifasciata* em cultivo fechado de *Lycopersicon esculentum*, variedade *sweet grape*, assim como analisar a biologia floral dessa espécie vegetal. O trabalho foi desenvolvido em duas casas de vegetação localizadas em Araguari-MG, Brasil. Em uma delas, utilizou-se somente o método mecânico de polinização e, na outra, a polinização pelo método mecânico foi associado à realizada pelas abelhas por meio da introdução de seis ninhos de *M. quadrifasciata*. O desenvolvimento das colônias no interior da estufa foi investigado e o comportamento de forrageamento das operárias foi avaliado antes da introdução, dentro da casa de vegetação e depois dos ninhos terem sido retirados. A produtividade das estufas foi comparada e a qualidade dos tomates foi avaliada através do tamanho, peso, número de sementes e concentração de açúcares totais. Com o confinamento, o período diário de forrageamento diminuiu e as abelhas iniciaram a coleta de pólen nas flores após cerca de seis meses. Tomates originados de flores visitadas por operárias de *M. quadrifasciata* apresentaram cerca de 47% mais sementes e foram aproximadamente 14% mais concentrados em açúcares. Esses resultados sugerem que a utilização de *M. quadrifasciata* para polinização do tomateiro se mostra promissora, uma vez que efeitos positivos são gerados na qualidade dos frutos. Entretanto, a difusão dos raios solares e o bloqueio da radiação ultravioleta provocados pela cobertura plástica da estufa dificultam a orientação e identificação das flores pelas operárias. Mudanças estruturais nas casas de vegetação, assim como o aprimoramento das técnicas de manejo, são necessárias para o melhor aproveitamento de abelhas sem ferrão na polinização de espécies vegetais cultivadas em ambientes protegidos.

Palavras-chave: Abelhas sem ferrão, manejo de abelhas, casa de vegetação, tomate.

ABSTRACT

Bartelli, B. F. Adaptation and pollination services of *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponina) in greenhouses of *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae). MSc. thesis in Ecology and Conservation of Natural Resources. UFU. Uberlândia-MG. 45p.

Studies involving the management of pollinators in greenhouses have indicated an improvement in productivity and fruit quality. The stingless bees are considered the most promising in use as commercial pollinators. However, the knowledge about management techniques of these bees in greenhouses is still scarce. This study aimed to evaluate the adaptation and efficiency of pollination of *Melipona quadrifasciata* in greenhouses of *Lycopersicon esculentum*, sweet grape variety, as well as analyze the floral biology of this plant species. The study was conducted in two greenhouses located in Araguari-MG, Brazil. In one, we used only the mechanical method of pollination and, in the other, pollination by mechanical method was associated with pollination performed by bees by the introduction of six nests of *M. quadrifasciata*. The development of the colonies inside the greenhouse was investigated and the foraging behavior of workers was assessed before introduction, into the greenhouse and after the nests had been removed. The productivity of the greenhouses was compared and quality of tomatoes was evaluated by size, weight, number of seeds and total sugar content. With confinement, the daily period of foraging decreased and bees started collecting pollen in flowers after approximately six months. Tomatoes originated from flowers visited by workers of *M. quadrifasciata* produced about 47% more seeds and were approximately 14% more concentrated in sugars. These results suggest that the use of *M. quadrifasciata* for pollination of tomato shows promise, since positive effects were generated on fruit quality. However, the diffusion of sunlight and blocking of ultraviolet radiation caused by the cover of the greenhouse hinder orientation and identification of flowers by workers. Structural changes in the greenhouses, as well as the improvement of management techniques are required for better utilization of stingless bees in the pollination of plant species grown in greenhouses.

Key words: Stingless bees, management of bees, greenhouse, tomato.

Adaptação e serviços de polinização de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponina) em cultivo fechado de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae)

1 – Introdução geral

1.1 – Os serviços ecossistêmicos e a polinização

Para o seu bem estar, o homem necessita de benefícios providos pelos organismos que interagem nos ecossistemas (DAILY, 1997). Tais benefícios são denominados serviços ecossistêmicos e estes podem ser divididos em cinco categorias: (1) abastecimento, como a produção de alimento e água; (2) equilíbrio, como o controle de clima e doenças; (3) apoio, como a ciclagem de nutrientes e a polinização de cultivos; (4) cultural, incluindo benefícios espiritual e recreativo; e (5) preservação, que envolve uma constante vigília para manutenção da diversidade (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

A polinização (processo de transferência dos grãos de pólen das anteras para o estigma da flor), então, constitui um serviço ecossistêmico básico. Além de ser importante para a reprodução das plantas com flores e para a produção de alimentos, tal serviço é fundamental para a manutenção da rede de interações entre animais e plantas (YAMAMOTO, 2009). Assim, a ausência do mesmo causaria um desequilíbrio ecossistêmico generalizado, afetando negativamente a reprodução sexuada e a diversidade genética das plantas e comprometendo, dessa forma, a produção de alimentos e produtos relacionados (BUCHMANN; NABHAN, 1996).

Estimativas monetárias tem mostrado que os serviços ecossistêmicos geram, anualmente, cerca de 33 trilhões de dólares, sendo a polinização responsável por 112 bilhões desse valor (COSTANZA et al., 1997). Nesse contexto, a polinização, especialmente a exercida por insetos, se mostra como um serviço essencial, uma vez que regula uma gama de benefícios diretos e indiretos à sociedade humana (FISHER et al., 2009), é responsável por aproximadamente 35% da produção agrícola mundial (KLEIN et al., 2007), e tem um valor estimado para a agricultura em 400 milhões de libras por ano no Reino Unido (POST, 2010) e em 153 bilhões de euros por ano no mundo todo (GALLAI et al., 2009). Esses dados reforçam ainda mais a importância dos serviços ecossistêmicos em geral e, em específico, da polinização para o homem. Entretanto, vale ressaltar que os valores econômicos estimados

para tais serviços devem ser utilizados como uma ferramenta nas práticas conservacionistas, auxiliando na conscientização e na tomada de decisões de políticas ambientais e sociais, e não como um fim em si mesmo (DAILY et al., 2000; GALLAI et al., 2009; YAMAMOTO, 2009).

1.2 – A importância das abelhas como polinizadores

A dependência e a consequente fidelidade dos polinizadores em relação às flores, especialmente a das abelhas, foi um dos fatores de maior importância na diversificação das Angiospermas (ERIKSSON; BREMER, 1992). Além disso, por serem as principais responsáveis pela polinização de muitas espécies de plantas nativas e cultivadas, as abelhas tem exercido um papel fundamental em diversos ecossistemas (BAWA, 1990).

Estima-se que de um total de 40.000 espécies de polinizadores, 20.000 sejam abelhas (MICHENER, 2007) e que 73% das espécies vegetais cultivadas no mundo sejam polinizadas por esses insetos (FAO, 2004). Entretanto, nos últimos anos, diversos estudos tem apontado um declínio nas populações desses animais e de outros grupos de polinizadores tanto em áreas agrícolas quanto em áreas naturais (BIESMEIJER et al., 2006; POTTS et al., 2010). Assim, a Convenção Sobre a Diversidade Biológica e a Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas estabeleceram, no ano de 2000, a Iniciativa Internacional para a Conservação e Uso Sustentável de Polinizadores (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2006), cujo principal objetivo é estabelecer estratégias de conservação de polinizadores autóctones.

No Brasil, a eficácia da polinização por abelhas já foi confirmada para várias espécies vegetais cultivadas. Dentre elas, merecem destaque: carambola, mamão, coco, café, açaí, morango, manga, rambutã, goiaba, pimentão, umbu, cupuaçu, guaraná e tomate (CASTRO et al., 2006).

1.3 – O cultivo do tomateiro

O tomateiro, *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae), é uma das plantas olerícolas mais difundidas no mundo, sendo cultivado em praticamente todas as regiões do planeta sob diferentes sistemas de cultivo e diferentes níveis de manejo. O maior produtor mundial de tomate é a China, seguida pelos Estados Unidos, sendo que o Brasil se encontra em 9º lugar (FAOSTAT, 2012). O tomate é um alimento amplamente consumido e de grande importância

ao organismo humano, principalmente pela presença do licopeno, um antioxidante que combate os radicais livres e retarda o envelhecimento (SHAMI; MOREIRA, 2004).

Estima-se que a produção anual brasileira de tomate seja de três milhões de toneladas, dos quais 77% são destinados para o consumo *in natura* e o restante utilizado para o processamento da polpa (SEADE, 2003). Os principais estados brasileiros responsáveis por tal produção são Goiás, São Paulo e Minas Gerais (IBGE et al., 2010).

O tomateiro é uma planta autofértil, suas flores são perfeitas, não produzem néctar e apresentam anteras poricidas. Em decorrência disto, para que a liberação do pólen e, conseqüentemente, a polinização ocorram, é necessário que haja a vibração das anteras com a conseqüente abertura das mesmas (BUCHMANN, 1983). A polinização pode ser realizada pelo vento ao agitar as anteras, mas a polinização cruzada é garantida através da visita de abelhas que apresentam o comportamento de *buzz-pollination*, ou seja, que são capazes de emitir vibrações através da contração dos músculos torácicos durante a visita às flores, liberando, assim, o pólen (BUCHMANN; HURLEY, 1978; HEARD, 1999).

O tomate pode ser produzido em áreas de cultivo abertas ou fechadas (ambientes protegidos, casas de vegetação ou estufas). Quando cultivado em áreas abertas, a liberação do pólen é realizada pelo vento (MCGREGOR, 1976; FREE, 1993) e/ou por polinizadores naturais, principalmente abelhas, que tem livre acesso às flores. Quanto ao cultivo em ambientes protegidos, este pode trazer alguns benefícios ao agricultor, como a possibilidade de manter a produção durante todo o ano de forma ininterrupta, a melhoria na qualidade dos frutos e o aumento na produção (HEARD, 1999). Nesse tipo de cultivo, a polinização é, geralmente, realizada através do método mecânico de vibração das flores, como alternativa para a ausência de vento e de polinizadores naturais. Entretanto, o método mecânico, além de aumentar os custos da produção com a contratação de mão-de-obra, pode provocar danos às flores e, conseqüentemente, aos frutos (CRIBB et al., 1993; ILBI et al., 1994; DOGTEROM et al., 1998).

1.4 – Abelhas como polinizadores do tomateiro em ambientes protegidos

Em áreas de cultivo fechadas do tomateiro, uma possibilidade que tem sido bastante explorada e difundida recentemente é a introdução de polinizadores aptos a fazerem *buzz-pollination* nesses ambientes. Estudos envolvendo o manejo desses polinizadores em casas de vegetação, como alternativa ao método mecânico de vibração das flores, tem apontado uma melhora na produtividade e na qualidade dos frutos produzidos. Dentre os polinizadores do

tomateiro em estufas, destacam-se *Amegilla chlorocyanea* Cockerell, 1914 (HOGENDOORN et al., 2006), abelhas dos gêneros *Xylocopa* (*Lestis*) Lepeletier & Serville, 1828 (HOGENDOORN et al., 2000) e *Bombus* Latreille, 1802 (MORANDIN et al., 2001), e as espécies de abelha sem ferrão *Nannotrigona perilampoides* Cresson, 1878 (CAUICH et al., 2004; PALMA et al., 2008) e *Melipona quadrifasciata* (BISPO DOS SANTOS, 2008; BISPO DOS SANTOS et al., 2009; DEL SARTO, 2005; DEL SARTO et al., 2005; HIKAWA; MIYANAGA; 2009). Esta espécie se mostrou um eficiente polinizador da variedade de tomate longa-vida, porém, estudos testando a adaptabilidade e a eficiência de polinização dessa abelha na variedade *sweet grape* (cultivada majoritariamente em ambientes protegidos) ainda não foram realizados.

As abelhas sem ferrão são consideradas as mais promissoras no uso como polinizadores comerciais (CRUZ, 2009), tendo em vista que são facilmente domesticadas, possuem ninhos populosos e perenes, apresentam estratégias de recrutamento de operárias e estocam uma grande quantidade de alimento, forrageando continuamente (HEARD, 1999). Entretanto, a escassez de técnicas de manejo e de divisão de ninhos dificulta a disponibilização dessas abelhas para uso na agricultura em larga escala (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2006).

Diante desse panorama, tornam-se necessários estudos que desenvolvam técnicas que incrementem a manutenção de abelhas sem ferrão em ambientes protegidos. Além disso, a utilização crescente desses insetos em sistemas agrícolas proporcionará uma maior percepção, por parte de agricultores, de moradores rurais e da sociedade como um todo, sobre a importância da conservação desse grupo de animais.

2 – Objetivos e apresentação da dissertação

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar a adaptação e os serviços de polinização de *Melipona quadrifasciata* em casas de vegetação de *Lycopersicon esculentum*, variedade *sweet grape*. Dessa forma, a dissertação foi estruturada em dois capítulos apresentados na forma de artigos. O capítulo 1 foi redigido seguindo as normas estabelecidas pela revista *Insectes Sociaux*. O objetivo neste capítulo foi avaliar, através da análise do comportamento de forrageamento e do desenvolvimento dos ninhos, a adaptação de *M. quadrifasciata* em cultivo fechado de *L. esculentum*, variedade *sweet grape*, para o uso potencial dessa espécie de abelha na polinização dessa cultura. Já o capítulo 2 foi organizado de acordo com as normas estabelecidas pela revista *Journal of Economic Entomology*. Os

objetivos específicos neste capítulo foram: (1) analisar a biologia floral do tomateiro, variedade *sweet grape*; e (2) avaliar a eficiência de *M. quadrifasciata* na polinização de tomate da variedade *sweet grape* em ambientes protegidos, buscando verificar se a introdução de ninhos dessa espécie gera um aumento efetivo na produção e melhora a qualidade dos frutos.

3 – Referências bibliográficas¹

BAWA, K. S. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 21, p. 399-422. 1990.

BIESMEIJER, J. C.; ROBERTS, S. P. M.; REEMER, M.; OHLEMULLER, R.; EDWARDS, M.; PEETERS, T.; SCHAFFERS, A. P.; POTTS, S. G.; KLEUKERS, R.; THOMAS, C. D.; SETTELE, J.; KUNIN, W. E. Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. **Science**, v. 313, p. 351-354. 2006.

BISPO DOS SANTOS, S. A. **Polinização em culturas de manjeriço, *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae), berinjela, *Solanum melongena* L. (Solanaceae) e tomate *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae) por espécies de abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia)-Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

BISPO DOS SANTOS, S. A.; ROSELINO, A. C.; HRNCIR, M.; BEGO, L. R. Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). **Genetics and Molecular Research**, v. 8, n. 2, p. 751-757. 2009.

BUCHMANN, S. L. Buzz pollination in angiosperms. In: JONES, C. E.; LITTLE, R. J. (Eds.). **Handbook of Experimental Pollination Biology**. New York: Scientific and Academic Editions, 1983. 558 p.

BUCHMANN, S. L.; HURLEY, J. P. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. **Journal of Theoretical Biology**, v. 72, p. 639-657. 1978.

¹ Normas ABNT

BUCHMANN, S. L.; NABHAN, G. P. **The forgotten pollinators**. Washington, DC: Island Press, 1996. 262 p.

CASTRO, M. S.; KOEDAM, D.; CONTRERA, F. A. L.; VENTURIERI, G. C.; PARRA, G. N.; MALAGODI-BRAGA, K. S.; CAMPOS, L. O.; VIANA, M.; CORTOPASSI-LAURINO, M.; NOGUEIRA-NETO, P.; PERUQUETTI, R. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Stingless bees. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; DE JONG, D. (Eds.). **Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2006. 114 p.

CAUICH, O.; QUEZADA-EUÁN, J. J. C.; MACIAS-MACIAS, J. O.; REYES-ORECEL, V.; MEDINA-PERALTA, S.; PARRA-TABLA, V. Behavior and Pollination Efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on Greenhouse Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in Subtropical México. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 475-481. 2004.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DEGROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M. The value of the world's service and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253-260. 1997.

CRIBB, D. M.; HAND, D. W.; EDMONDSON, R. N. A comparative study of the effects of using the honeybee as a pollinating agent of glasshouse tomato. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 1, p. 79-88. 1993.

CRUZ, D. O. **Biologia floral e eficiência polinizadora das abelhas *Apis mellifera* L. (campo aberto) e *Melipona quadrifasciata* Lep. (ambiente protegido) na cultura de pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) em Minas Gerais, Brasil**. 2009. 88 f. Tese (Doutorado em Entomologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

DAILY, G. C. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997. 412 p.

DAILY, G. C.; SÖDERQVIST, T.; ANIYAR, S.; ARROW, K.; DASGUPTA, P.; EHRLICH, P.; FOLKE, C.; JANSSON, A-M.; JANSSON, B-O.; KAUTSKY, N.; LEVIN, S.;

LUBCHENCO, J.; MÄLER, K-G.; SIMPSON, D.; STARRETT, D.; TILMAN, D.; WALKER, B. The value of nature and the nature of value. **Science**, v. 289, p. 395-396. 2000.

DEL SARTO, M. C. L. **Avaliação de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) como Polinizador da cultura do Tomateiro em Cultivo Protegido**. 2005. 61 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DEL SARTO, M. C. L.; PERUQUETTI, R. C.; CAMPOS, L. A. O. Evaluation of the Neotropical Stingless Bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as Pollinator of Greenhouse Tomatoes. **Journal of Economic Entomology**, v. 98, p. 260-266. 2005.

DOGTEROM, M. H.; MATTEONI, J. A.; PLOWRIGHT, R. C. Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenkii* (Hymenoptera: Apidae). **Journal Economic Entomology**, v. 91, p. 71-75. 1998.

ERIKSSON, O; BREMER, B. Polination systems, dispersal modes, life forms, and diversification rates in angiosperms families. **Evolution**, v. 46, p. 258-266. 1992.

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response. In: FREITAS, B. M.; PEREIRA, J. O. P. (Eds.). **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2004. 285 p.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database Results. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 634-653. 2009.

FREE, J. B. **Insect pollination of crops**. San Diego: Academic, 1993. 684 p.

GALLAI, N.; SALLES, J. M.; SETTELE, J.; VAISSIERE, B. E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 810–821. 2009.

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. **Annual Review Entomology**, v. 44, p. 183-206. 1999.

HIKAWA, M.; MIYANAGA, R. Effects of pollination by *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) on tomatoes in protected culture. **Applied Entomology and Zoology**, v. 44, p. 301-307. 2009.

HOGENDOORN, K.; GROSS, C. L.; SEDGLEY, M.; KELLER, M. A. Increased tomato yield through pollination by native Australian blue-banded bees (*Amegilla chlorocyanea* Cockerell). **Journal of Economic Entomology**, v. 99, p. 828-833. 2006.

HOGENDOORN, K.; STEEN, Z.; SCHWARZ, M. P. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumble bees for tomato pollination in greenhouses. **Journal Apicultural Research**, v. 39, n. 3, p. 67-74. 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Comissão Especial de Planejamento, Controle e Avaliação das Estatísticas Agropecuárias; Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Departamento de Agropecuária. Levantamento sistemático da produção agrícola, **CEPAGRO**, v. 23, n. 9, p. 1-80. 2010.

ILBI, H.; BOZTOK, K.; COCKSHULL, K. E.; TUZEL, Y.; GUL, A. The effects of different truss vibration durations on the pollination and fruit set of greenhouse grown tomatoes. **Acta Horticulturae**, v. 366, p. 73-78. 1994.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; DE JONG, D. Information technology and pollinators initiatives. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; DE JONG, D. (Eds.). **Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2006. 114 p.

KLEIN, A. M.; VAISSIERE, B. E.; CANE, J. H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences**, v. 274, p. 303-313. 2007.

McGREGOR, S. E. **Insect pollination of cultivated crop plants**. Washington: United States Department of Agriculture, 1976. 411 p.

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007. 953 p.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and Human well-being: synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005. 100 p.

MORANDIN, L. A.; LAVERTY, T. M.; KEVAN, P. G. Effect of bumble bee (Hymenoptera: Apidae) pollination intensity on the quality of greenhouse tomatoes. **Journal of Economic Entomology**, v. 94, n. 1, p. 178-179. 2001.

PALMA, G.; QUEZADA-EUÁN, J. J. G.; MELÉNDEZ-RAMÍREZ, V.; IRIGOYEN, J.; VALDOVINOS-NUNES, G. R.; REJÓN, M. Comparative efficiency of *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apoidea), and mechanical vibration on fruit production of enclosed habanero pepper. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 1, p. 132-138. 2008.

POST. **Insect Pollination POST Note 348**. London: Parliamentary Office of Science and Technology, 2010. 4 p.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W. E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, n. 25, p. 345-353. 2010.

SEADE. Fundação Seade: Sensor Rural. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acessado em: 30 mar. 2011.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 2, p. 227-236. 2004.

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

Capítulo 1

Manutenção de colônias e comportamento de forrageamento de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponina) em cultivo fechado de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae)

Resumo. A utilização de abelhas sem ferrão em casas de vegetação tem proporcionado enormes benefícios a diversas culturas em termos de produtividade e qualidade dos frutos. Contudo, o conhecimento sobre técnicas de manejo dessas abelhas nesses ambientes ainda é escasso. O presente estudo teve como objetivo avaliar a adaptação de *Melipona quadrifasciata* em cultivo fechado de *Lycopersicon esculentum* para o uso potencial dessa espécie de abelha na polinização dessa cultura. Seis ninhos de *M. quadrifasciata* foram introduzidos em uma casa de vegetação em Araguari-MG. O desenvolvimento das colônias no interior da estufa foi investigado e o comportamento de forrageamento das operárias foi avaliado antes da introdução, dentro da casa de vegetação e depois dos ninhos terem sido retirados. As atividades vitais para manutenção das colônias foram realizadas de forma heterogênea ao longo do dia dentro e fora da casa de vegetação, porém, com o confinamento, o período diário de forrageamento diminuiu e as abelhas iniciaram a coleta de pólen nas flores somente após cerca de seis meses. A dificuldade de orientação e identificação das flores pelas operárias foi atribuída à difusão dos raios solares e ao bloqueio da radiação ultravioleta provocados pela cobertura plástica da estufa. Mudanças estruturais nas casas de vegetação, assim como o aprimoramento das técnicas de manejo, são necessárias para o melhor aproveitamento de abelhas sem ferrão na polinização de espécies vegetais cultivadas em ambientes protegidos.

Palavras-chave: Abelhas sem ferrão; Manejo de abelhas; Casa de vegetação; Atividade externa; Coleta de recurso.

Abstract. The use of stingless bees in greenhouses has provided tremendous benefits to diverse cultures in terms of productivity and fruit quality. However, knowledge about management techniques in these environments is still scarce. The present study aimed to evaluate the adaptation of *Melipona quadrifasciata* in a greenhouse of *Lycopersicon esculentum* for the potential use of this kind of bee in pollination of this crop. Six nests of *M.*

quadrifasciata were introduced in a greenhouse in Araguari-MG. The development of colonies inside the greenhouse was investigated and the foraging behavior of workers was assessed before introduction, into the greenhouse and after the nests had been removed. The vital activities for the maintenance of colonies were performed unevenly throughout the day inside and outside the greenhouse, but with the confinement the daily period of foraging decreased and bees started collecting pollen in flowers after approximately six months. The difficulty of orientation and identification of flowers by workers was attributed to diffusion of sunlight and blocking of ultraviolet radiation caused by the cover of the greenhouse. Structural changes in the greenhouses, as well as the improvement of management techniques are required for better utilization of stingless bees in pollination of plant species grown in greenhouses.

Key words: Stingless bees; Management of bees; Greenhouse; External activity; Resource collection.

Introdução

No mundo, existem aproximadamente 20.000 espécies de abelhas descritas (Michener 2007). Dentre elas, as abelhas sem ferrão são organismos altamente sociais e constituem um importante grupo em função dos papéis ecológico e econômico que desempenham. Essas abelhas pertencem à subtribo Meliponina, que é constituída por aproximadamente 400 espécies, pertencentes a cerca de 50 gêneros, e apresentam distribuição mundial, podendo ser encontradas nas Américas, no sudeste da Ásia, na África, na ilha de Madagascar e na Austrália (Silveira et al. 2002).

As abelhas sem ferrão são as principais responsáveis pela polinização de diversas espécies vegetais nativas (Michener 2007) e cultivadas (Heard 1999). Em decorrência disso, a partir da década de 90, o número de estudos envolvendo a introdução dessas abelhas em casas de vegetação tem crescido cada vez mais para avaliar a eficiência de polinização desses insetos em diferentes culturas. Dentre estas, merecem destaque: berinjela, utilizando-se *Melipona quadrifasciata* como polinizador (Bispo dos Santos 2008); manjerição, testado com *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (Bispo dos Santos 2008); morango, testado com *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811 (Malagodi-Braga 2002), *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Roselino et al. 2009) e *N. testaceicornis* (Roselino et al. 2009); pimentão, utilizando-se *M.*

subnitida Ducke, 1910 (Cruz et al. 2005), *M. quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Roselino et al. 2010) e *M. scutellaris* Latreille, 1811 (Roselino et al. 2010); e tomate, testado com *M. quadrifasciata* (Bispo dos Santos et al. 2009; Del Sarto et al. 2005).

O tomateiro, *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae), é uma das plantas olerícolas mais difundidas no mundo, sendo cultivado em praticamente todas as regiões do planeta sob diferentes sistemas de cultivo e diferentes níveis de manejo. É uma planta autofértil, sendo que suas flores são perfeitas, não produzem néctar e apresentam anteras poricidas. Assim, para que a liberação do pólen e, conseqüentemente, a polinização ocorram, é necessário que haja a vibração das anteras com a conseqüente abertura das mesmas (Buchmann 1983). A polinização pode ser realizada pelo vento ao agitar as anteras, mas a polinização cruzada é garantida através da visita de abelhas que apresentam o comportamento vibratório ou *buzz-pollination* (Buchmann e Hurley 1978; Heard 1999; Nunes-Silva et al. 2010).

O tomate pode ser produzido em áreas de cultivo abertas ou fechadas (ambientes protegidos, casas de vegetação ou estufas). Quando cultivado em áreas abertas, a liberação do pólen é realizada pelo vento (McGregor 1976; Free 1993) e/ou por polinizadores naturais, principalmente abelhas, que tem livre acesso às flores. Quanto ao cultivo em ambientes protegidos, a polinização é, geralmente, realizada através do método mecânico de vibração das flores, como alternativa para a ausência de vento e de polinizadores naturais. No entanto, estudos envolvendo o manejo de polinizadores em casas de vegetação tem apontado uma melhora na produtividade e na qualidade dos frutos produzidos (Cruz e Campos 2009). Dentre os polinizadores do tomateiro em estufas, *M. quadrifasciata* se mostrou eficiente na polinização da variedade longa-vida (Del Sarto et al. 2005), porém, estudos testando a adaptabilidade e a eficiência de polinização dessa abelha na variedade *sweet grape*, cultivada majoritariamente em ambientes protegidos, ainda não foram realizados.

As abelhas sem ferrão são consideradas as mais promissoras no uso como polinizadores comerciais (Cruz e Campos 2009), tendo em vista que não apresentam um ferrão funcional, são facilmente domesticadas, possuem ninhos populosos e perenes, apresentam estratégias de recrutamento de operárias e estocam uma grande quantidade de alimento, forrageando continuamente (Heard 1999; Malagodi-Braga et al. 2004). Apesar disso, a escassez de técnicas de manejo e de multiplicação de ninhos tem dificultado a utilização e a disponibilização dessas abelhas para uso na agricultura em larga escala (Imperatriz-Fonseca et al. 2006).

Diante desse panorama, o presente estudo buscou incrementar o conhecimento sobre técnicas e aspectos relacionados à manutenção de abelhas sem ferrão em casas de vegetação,

tendo como objetivo, através da análise do comportamento de forrageamento e do desenvolvimento dos ninhos, avaliar a adaptação de *M. quadrifasciata* em cultivo fechado de *L. esculentum*, variedade *sweet grape*, para o uso potencial dessa espécie de abelha na polinização dessa cultura.

Material e Métodos

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no Meliponário da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizado na Fazenda Experimental do Glória (18°56'57''S/48°12'14''O), em Uberlândia-MG, e na Chácara Paraíso (18°39'3,55''S/48°11'7,51''O), situada no município de Araguari-MG. Na fazenda, desenvolvem-se atividades agrícolas e de pecuária, mas conservam-se fragmentos de cerrado e de Floresta Estacional Semidecidual. Já a chácara é composta por áreas de cultivo e de pastagens, fragmentos de cerrado e por 12 casas de vegetação, onde são cultivados tomateiros da variedade *sweet grape*. Dessas, uma foi utilizada para a realização dos experimentos.

De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima das regiões de Uberlândia e Araguari é do tipo Aw megatérmico (tropical chuvoso), marcado por duas estações bem definidas, uma chuvosa que se estende de outubro a março e outra seca de abril a setembro. A precipitação anual varia entre 1160 a 1460mm/ano e a temperatura média anual está entre 23 e 25°C, sendo uniforme ao longo do ano (Alves e Rosa 2008).

A casa de vegetação utilizada no experimento apresentava cerca de 1344m² (48m x 28m), sendo coberta na parte superior com um filme plástico Extra Longa Vida (ELV) Difusor Antivírus e totalmente fechada nas laterais com telas antiafídicas (Figura 1A). Apresentava 24 linhas de cultivo e cada uma destas possuía em média 112 tomateiros, totalizando 2688 plantas.

Introdução dos ninhos de *M. quadrifasciata*

Para a realização dos experimentos, em março de 2012, foram introduzidos, no início da floração dos tomateiros, seis ninhos de *M. quadrifasciata* com tamanhos populacionais similares, acondicionados em caixas de madeira com tamanho aproximado de 40x25x25cm (Figura 1B). Antes da introdução, para evitar a mortalidade que ocorre durante os primeiros

dias em decorrência da dificuldade de orientação das abelhas dentro da casa de vegetação (Bartelli, comunicação pessoal; Del Sarto 2005), grande parte das operárias campeiras dos ninhos foi transferida (através de reposicionamento dos mesmos) para outras colônias localizadas no meliponário. Além disso, com esse mesmo intuito, os ninhos foram introduzidos na estufa após o anoitecer (Cuypers 1968).

A fim de permitir uma distribuição homogênea das abelhas nas flores, os ninhos foram dispostos uniformemente na região central da casa de vegetação (Free 1993) e instalados em toras de eucalipto que se encontravam no interior das linhas de cultivo, utilizando caixas de plástico como suporte. Para aumentar o número de pontos de referência para as abelhas, uma vez que a uniformidade existente no interior das estufas pode dificultar a orientação das mesmas (Dyer 1994), a entrada dos ninhos foi pintada com formatos e cores diferentes.

No interior da casa de vegetação, foram disponibilizados, em cima das caixas utilizadas como suporte, recipientes contendo água, barro e cerume (fonte alternativa para a resina vegetal) de *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811, que era conservado em álcool de cereais e disponibilizado somente após a evaporação do álcool (Figura 1C). Assim, esses recursos puderam ser coletados livremente pelas abelhas. Os ninhos foram alimentados esporadicamente com pólen de *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, macerado com água e açúcar, até o início das atividades de forrageamento nas flores, e semanalmente com xarope (mistura de mel de *A. mellifera*, água e açúcar na proporção 1:1:1), ao longo de todo o período de confinamento, uma vez que as flores do tomateiro não produzem néctar. Para a aplicação de pesticidas, método que faz parte do manejo realizado, as entradas dos ninhos eram vedadas com papel, sendo eles protegidos com lonas plásticas e os recipientes cobertos com caixas de papelão. Essas proteções eram retiradas somente após a secagem do pesticida e as entradas dos ninhos desobstruídas após o anoitecer.

Com o intuito de facilitar a orientação e a identificação das flores por parte das operárias, foram instaladas dentro da casa de vegetação uma lâmpada de vapor de mercúrio e duas lâmpadas mistas (fontes alternativas de luz e radiação ultravioleta) em um dos corredores onde alguns dos ninhos se encontravam (Figura 1D). As lâmpadas foram conectadas a um timer digital, programado para ligá-las às 6h00min e desligá-las às 18h00min, e permaneceram na estufa do início de junho até a metade de julho. A eficiência das lâmpadas, bem como a influência do filme difusor na radiação solar que incide sobre a casa de vegetação, foi avaliada através da análise do padrão de reflectância das flores. Para investigar esse padrão, 10 flores foram fotografadas entre 10h00min e 11h00min a um fundo branco com uma câmera digital Sony Cyber-shot DSC-H20, sendo que cada flor teve sua imagem

obtida em três diferentes circunstâncias: dentro da estufa e próximo às lâmpadas; dentro da estufa e longe das lâmpadas; e fora da estufa. Para o tratamento das imagens, o software Photoshop CS3 10.0 foi utilizado e as médias dos padrões de saturação cromático (RGB - vermelho, verde e azul do espectro de luz) e acromático (luminosidade) da corola das flores foram analisadas.



Fig. 1 A) Estufa utilizada no experimento na Chácara Paraíso, em Araguari-MG; B) Ninho de *Melipona quadrifasciata* instalado no interior da estufa; C) Recipientes contendo água, barro e cerume disponibilizados no interior da estufa; D) Lâmpadas instaladas no interior da estufa

Adaptação e desenvolvimento dos ninhos de *M. quadrifasciata*

Para verificar o desenvolvimento dos ninhos e a adaptação das abelhas na casa de vegetação, foram analisados as condições internas dos ninhos, as atividades de coleta e o comportamento das operárias em voo e nas flores. Ao longo do confinamento, as condições internas dos ninhos foram avaliadas de forma não sistemática, investigando características aparentes do interior, como cor, textura e odor do cerume e do invólucro, presença de células em construção, número de operárias e presença de operária guarda.

Após dois meses de confinamento (tempo suficiente para o nascimento de novas operárias, Nogueira-Neto 1997), a atividade de coleta das abelhas na estufa foi avaliada, quinzenalmente, de maio a outubro de 2012, mediante observações diretas do fluxo (entrada e

saída) de operárias de dois ninhos (ninhos 4 e 5). A quantidade e a qualidade dos recursos (pólen, barro, água ou lixo) que entram e/ou saem dos ninhos foram registradas a cada 10 minutos de cada hora (das 6h00min às 18h00min). Com o intuito de comparar o padrão diário da atividade de coleta das operárias dentro e fora da casa de vegetação, os procedimentos metodológicos descritos acima foram realizados em três ninhos antes da introdução (ninhos 1, 2 e 3), ao longo de três dias não consecutivos, na Fazenda Experimental do Glória da UFU, e, quinzenalmente, de junho a outubro de 2012, em um (ninho 6) dos dois ninhos retirados da estufa após três meses de confinamento, na Chácara Paraíso.

O comportamento de voo das abelhas foi observado ao longo do confinamento e o comportamento das operárias em visita às flores de tomate foi observado, fotografado e filmado. Além disso, por meio da utilização de um termohigrômetro digital, a temperatura dentro e fora da casa de vegetação foi aferida todos os dias às 8h00min, 11h00min e 15h00min, de abril a outubro de 2012.

Análises estatísticas. Para verificar se os padrões de reflectância de flores do tomateiro dependem da presença ou não das lâmpadas e do filme difusor, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey, uma vez que não houve diferença entre os blocos (flores) para RGB ($F = 1,118$; $gl = 9$; $p = 0,399$) e luminosidade ($F = 1,037$; $gl = 9$; $p = 0,449$) (Zar 2010). Com o intuito de avaliar o padrão diário de coleta de recursos das abelhas dentro e fora da casa de vegetação, análises circulares foram realizadas por meio do software Oriana 4.01 (Kovach 2011), utilizando o teste de Rayleigh para o cálculo das probabilidades. Para investigar se a temperatura difere dentro e fora da estufa ao longo dos meses de confinamento dos ninhos, foi realizado um teste t (Zar 2010) para cada mês.

Resultados

Atividade externa das operárias

Na Fazenda Experimental do Glória, as abelhas deram início ao forrageamento por volta das 5h40min. O número de operárias campeiras saindo e entrando dos ninhos não foi uniforme ao longo do dia, sendo que o período de maior atividade ocorreu das 6h00min às 8h00min. A frequência relativa de coleta por recurso variou consideravelmente entre os ninhos, uma vez que, das operárias observadas, 7,7-18,2% transportaram pólen, 17,0-81,4% néctar/água, 3,6-55,7% resina e 0,2-11,1% barro. Além disso, os recursos não foram obtidos uniformemente ao longo do dia. A coleta de pólen ocorreu somente no período da manhã,

apresentando um pico das 6h00min às 8h00min. A maior frequência média observada para néctar/água ocorreu entre 6h00min e 7h00min, sendo a coleta deste recurso reduzida gradativamente ao longo do dia. Com relação à resina e ao barro, os picos de coleta ocorreram, respectivamente, das 8h00min às 10h00min e das 8h00min às 11h00min (Tabela 1).

Dentro da casa de vegetação, a atividade das abelhas teve início às 7h00min e não foi uniforme ao longo do dia, sendo que a maior movimentação de operárias ocorreu entre 17h00min e 18h00min para o ninho 4 e entre 12h00min e 13h00min para o ninho 5. A frequência relativa de coleta por recurso variou entre os ninhos, visto que, das operárias observadas ao longo de todo o confinamento, 14,8-21,4% transportaram pólen, 37,5-60,7% água e 7,8-23,3% resina (cerume), sendo que não houve coleta de barro. Além disso, a obtenção de pólen e água pelas operárias ocorreu de forma heterogênea ao longo do dia e, com relação à resina, não houve um pico de coleta definido. A coleta de pólen se limitou ao período da manhã, apresentando um pico entre 8h00min e 9h00min, e a maior frequência média observada para água ocorreu entre 17h00min e 18h00min (Tabela 1).

Depois dos ninhos serem retirados da estufa e colocados na área externa, foi possível observar, no dia seguinte, operárias entrando com pólen nas corbículas. Fora da casa de vegetação, o número médio de operárias em atividade aumentou quando comparado dentro da estufa. A movimentação das abelhas não foi uniforme ao longo do dia e o pico de atividade ocorreu entre 6h00min e 7h00min. Das operárias observadas ao longo dos meses, 31,4% transportaram pólen, 57,5% néctar/água e 7,0% resina, sendo que não houve coleta de barro. Com exceção da resina, os recursos foram obtidos de forma heterogênea ao longo do dia, tendo em vista que a coleta de pólen, limitada mais uma vez ao período da manhã, e a coleta de néctar/água apresentaram um pico entre 7h00min e 8h00min e entre 6h00min e 7h00min, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 Vetor tempo médio (com o número de observações (n) e os valores de probabilidade (p), de acordo com o teste de Rayleigh) para a coleta dos recursos e para a atividade externa total ao longo do dia por *Melipona quadrifasciata* na Fazenda Experimental do Glória, em Uberlândia-MG, e dentro e fora da estufa, em Araguari-MG

Recurso	Fazenda Experimental do Glória			Dentro da estufa		Fora da estufa
	Ninho 1	Ninho 2	Ninho3	Ninho4	Ninho 5	Ninho 6
Pólen	7h56min	6h51min	6h44min	7h40min	8h10min	7h29min
	(n=31)	(n=60)	(n=67)	(n=3)	(n=6)	(n=10)
	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)	(p=0,036)	(p<0,001)	(p<0,001)
Néctar/água ou Água	7h18min	7h44min	7h52min	16h00min	14h45min	7h33min
	(n=329)	(n=79)	(n=117)	(n=3)	(n=6)	(n=19)
	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)	(p=0,042)	(p=0,011)	(p<0,001)
Resina	10h41min	9h50min	9h39min		11h30min	6h30min
	(n=15)	(n=259)	(n=136)	-----	(n=2)	(n=2)
	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)		(p=0,144)	(p=0,144)
Barro	9h00min	9h42min	10h38min			
	(n=1)	(n=50)	(n=23)	-----	-----	-----
	(p=0,512)	(p<0,001)	(p<0,001)			
Atividade externa total	7h32min	9h00min	8h36min	11h43min	11h28min	7h45min
	(n=801)	(n=910)	(n=719)	(n=17)	(n=39)	(n=62)
	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)	(p<0,001)

(-----) Dados insuficientes para análise ou recurso não coletado

Comportamento e desenvolvimento das colônias na estufa

No interior da casa de vegetação, as atividades de voo das abelhas começaram com 22 dias de confinamento. Entretanto, as operárias se limitavam apenas à retirada de lixo das colônias, sendo que muitas se chocavam contra o teto ou a lateral da estufa, por onde permaneciam e acabavam morrendo. Dois ninhos não resistiram às condições de confinamento e ambos morreram após cerca de dois meses. Além disso, em decorrência do aspecto quebradiço do invólucro, da ausência de células em construção, da baixa quantidade de operárias e da ausência de operária guarda, outros dois ninhos foram retirados de dentro da

casa de vegetação e colocados na área externa. Desses, apenas um sobreviveu, tendo em vista que o outro foi atacado por forídeos.

O comportamento de voo em direção ao teto e à lateral da casa de vegetação diminuiu com o passar do tempo de confinamento, mas não deixou de existir, mesmo após o início das atividades de coleta nas flores. As lâmpadas instaladas dentro da estufa não alteraram o comportamento de forrageamento das abelhas, não tendo influenciado o RGB e a luminosidade da corola das flores do tomateiro. No entanto, os padrões de saturação cromático ($F = 10,51$; $gl = 2$; $p < 0,001$) e acromático ($F = 8,44$; $gl = 2$; $p = 0,001$) das flores se mostraram significativamente diferentes dentro e fora da casa de vegetação (Figura 2). Quanto à temperatura, analisando-se cada mês separadamente, as médias foram significativamente diferentes dentro e fora da estufa ao longo de todo o período de confinamento dos ninhos de *M. quadrifasciata* (Figura 3).

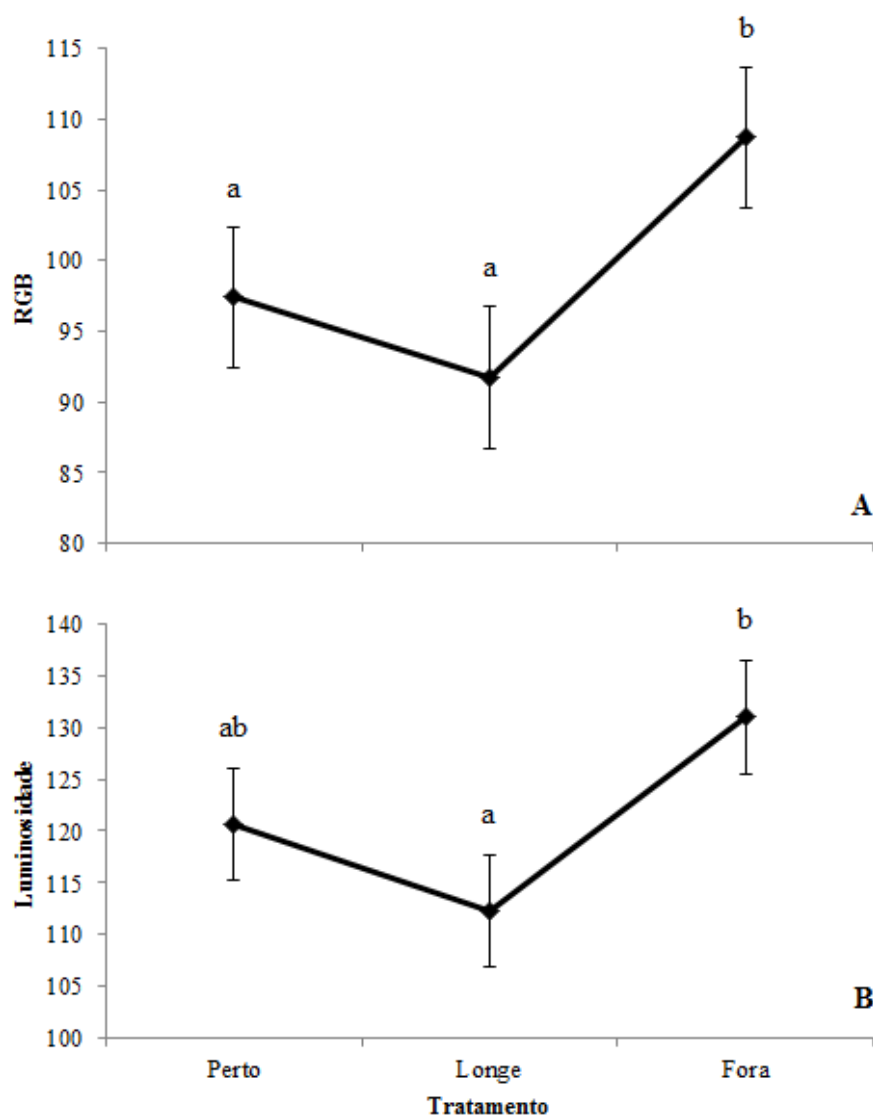


Fig. 2 Valores médios (\pm erro padrão) dos padrões de saturação cromático (ou RGB - A) e acromático (ou luminosidade - B) das flores do tomateiro nos diferentes tratamentos (Perto: dentro da estufa e perto das lâmpadas; Longe: dentro da estufa e longe das lâmpadas; e Fora: fora da estufa) na Chácara Paraíso, em Araguari-MG. Letras distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos

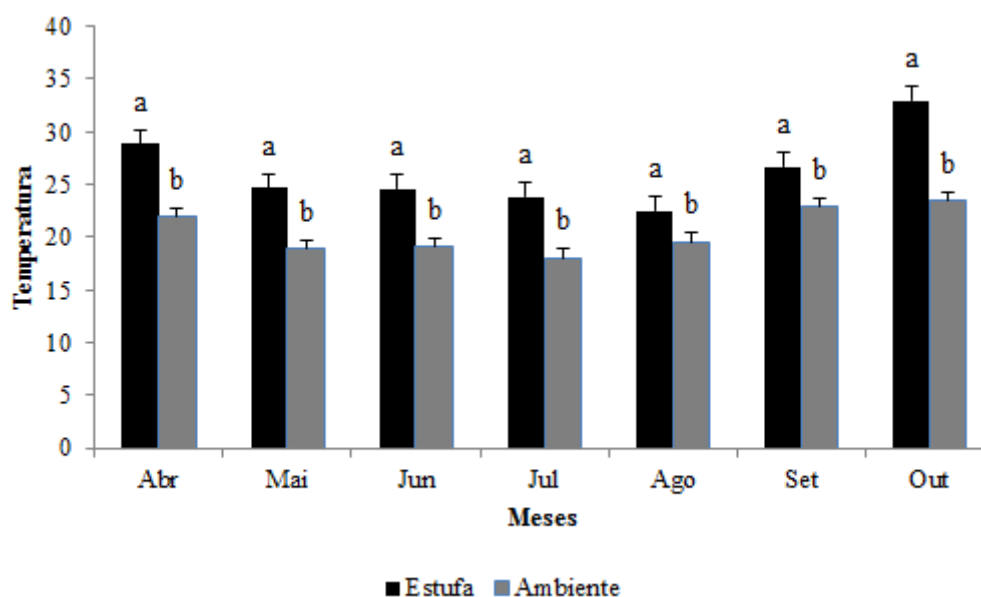


Fig. 3 Valores médios (\pm erro padrão) de temperatura dentro e fora da estufa ao longo do período de confinamento dos ninhos de *Melipona quadrifasciata* na Chácara Paraíso, em Araguari-MG. Letras distintas indicam diferenças significativas para cada mês

O início da coleta de pólen nas flores do tomateiro ocorreu no final de julho, porém, houve apenas um registro nesse período e nenhum no mês seguinte. A visita intensiva das operárias às flores (seis registros de coleta de pólen por ninho) ocorreu no início de setembro, com quase seis meses de confinamento, após as coberturas superior e laterais da estufa terem sido lavadas com água e sabão. Para a coleta do pólen, as operárias de *M. quadrifasciata* realizaram o comportamento de *buzz-pollination* característico das espécies de *Melipona* e de outros gêneros, pousando sobre as anteras da flor e curvando-se em volta ou no ápice do cone de anteras para agarrá-lo (Figura 4A). Assim, transmitiam vibrações para as anteras através do tórax e das pernas para liberação do pólen. Para a transferência do pólen do corpo para a corbícula, algumas abelhas permaneciam agarradas à base do cone de anteras pelas pernas e/ou mandíbulas, enquanto outras faziam a transferência durante o voo ou pousadas sobre outras partes da planta, como folhas e frutos (Figura 4B).



Fig. 4 A) Operária de *Melipona quadrifasciata* coletando pólen em flor de tomateiro; B) Operária de *M. quadrifasciata* transferindo pólen do corpo para a corbícula quando pousada sobre um fruto

Discussão

O comportamento de forrageamento das abelhas sem ferrão está relacionado tanto a fatores intrínsecos ao ninho, como a habilidade de comunicação e o tamanho populacional, quanto a extrínsecos, como a abundância e distribuição dos recursos no ambiente e a susceptibilidade a fatores abióticos (Fidalgo e Kleinert 2007). Com isso, os resultados encontrados para *Melipona quadrifasciata*, como a coleta de pólen limitada ao período da manhã e a variação na obtenção dos diferentes recursos entre os ninhos, sugerem que, dada a heterogeneidade ambiental da Fazenda Experimental do Glória, as necessidades de cada ninho e as preferências da espécie tem sido os fatores de maior importância na determinação do padrão diário de coleta.

Dentro da casa de vegetação, as atividades vitais para a manutenção das colônias são realizadas e, de modo geral, o comportamento de forrageamento de *M. quadrifasciata* variou pouco. Entretanto, padrões mais fortes (representados por valores de probabilidade menores, Tabela 1) na atividade externa das abelhas foram observados na fazenda, antes do confinamento, em decorrência do maior número de operárias em atividade. Adicionalmente, o período diário de forrageamento diminuiu na estufa e as abelhas visitaram de modo constante as flores para coleta de pólen somente com aproximadamente seis meses de confinamento. O tempo requerido para a adaptação em ambientes protegidos varia tanto entre espécies quanto entre colônias de uma mesma espécie (Malagodi-Braga 2002). No entanto, esse tempo foi

provavelmente determinado pela presença do filme difusor na cobertura da casa de vegetação, e uma evidência disso foi a coleta de pólen observada nos ninhos colocados na área externa assim que foram retirados da estufa.

Devido ao efeito dispersante dos filmes plásticos utilizados nas coberturas de casas de vegetação, a radiação solar é um dos diversos fatores ambientais que podem ser alterados pelo uso do cultivo fechado (Schwengber et al. 1996). De certa forma, isso pode ser evidenciado através dos diferentes padrões de reflectância encontrados para flores do tomateiro dentro e fora da casa de vegetação estudada. Esse efeito dispersante é favorável às plantas, uma vez que a fração difusa da radiação solar é mais efetiva para a fotossíntese (Farias et al. 1993), porém, pode ter dificultado a orientação das abelhas e a identificação das flores por parte das operárias, afetando as atividades de forrageamento no interior da estufa e atrasando, assim, o início da coleta de pólen no plantio de tomate.

Além disso, em relação ao ambiente externo, a radiação solar global (medida pela densidade de fluxo luminoso) e a radiação solar difusa (multidirecional) são, respectivamente, menor e maior no interior da estufa em decorrência da reflexão e da absorção do material da cobertura plástica. Essa reflexão e absorção, por sua vez, são determinadas, por exemplo, pelas condições da cobertura, como o tempo de uso e a deposição de poeira (Farias et al. 1993). Isso explica o fato das visitas às flores por operárias de *M. quadrifasciata* terem sido intensificadas quando as coberturas superior e laterais da casa de vegetação foram lavadas com água e sabão, como parte do manejo do cultivo fechado de tomate.

Para se orientarem, as abelhas utilizam elementos como o sol, a luz polarizada, marcas visuais presentes no ambiente e a radiação ultravioleta (Briscoe e Chittka 2001; Dyer 1994; Kerr 1973). A presença de nuvens e de neblina provoca a dispersão de raios luminosos e reduz o sinal de polarização (Shashar e Cronin 1998). Assim, a cobertura da estufa pode produzir um efeito semelhante ao promovido pelas nuvens e restringir a atividade das abelhas a um período no qual os raios luminosos sejam menos dispersos pela cobertura plástica (Malagodi-Braga 2002).

Além do efeito dispersante, o filme ELV Difusor Antivírus elimina a entrada da luz ultravioleta (UV) para dificultar a visão de insetos praga do tomateiro (Electro Plastic 2013). Isto pode ter sido também um fator agravante na orientação das operárias campeiras de *M. quadrifasciata* dentro da casa de vegetação. Apesar dessa espécie apresentar uma ampla distribuição pelo território brasileiro (Camargo e Pedro 2012), forrageando em locais relativamente pobres em UV, como sob o dossel de florestas tropicais densas (Briscoe e Chittka 2001), os ninhos encontravam-se em um ambiente aberto na Fazenda Experimental do

Glória e estavam acostumados à alta exposição de UV antes da introdução na estufa. Dessa maneira, a manutenção de ninhos de *M. quadrifasciata* no interior de matas, antes da introdução, seria uma boa estratégia para o manejo desta espécie em casas de vegetação.

No presente estudo, assim como em Del Sarto et al. (2005), a adaptabilidade de *M. quadrifasciata* às condições de confinamento se mostrou colônia-dependente. As altas temperaturas dentro da casa de vegetação podem ter sido um fator agravante para o desenvolvimento das colônias, uma vez que o calor intenso diminui a densidade do alimento larval, fazendo, assim, com que os ovos afundem e as larvas morram por afogamento. No entanto, estudos tem mostrado que as abelhas sem ferrão são tolerantes a altas temperaturas e capazes de resfriar o interior da colônia por meio de ventilação gerada pelo batimento das asas na entrada do ninho (Amano et al. 2000).

Dessa forma, a morte de dois ninhos, ocasionada pela falta de operárias para a realização das tarefas dentro da colônia, pode estar relacionada à posição da entrada, uma vez que ambos estavam localizados na periferia da estufa (próximos às telas antiafídicas) e com as entradas direcionadas para o sol durante todo o período da manhã. Isso possivelmente dificultou a adaptação das abelhas desses ninhos, visto que as telas antiafídicas parecem interferir minimamente na radiação solar. Resultados diferentes poderiam, então, ser obtidos posicionando a entrada dessas colônias para o centro da casa de vegetação.

Além disso, talvez se mantidos por mais tempo, os ninhos que foram retirados da casa de vegetação teriam se adaptado às condições de confinamento. Contudo, é válido ressaltar que, independente de haver adaptação, o período de florescimento do tomateiro da variedade *sweet grape* dura em torno de oito meses em casas de vegetação, sendo que, após esse período, os ninhos devem ser transferidos para a área externa. Nesse local, a existência de condições bióticas e abióticas que garantam a manutenção das colônias é fundamental. Sendo assim, a presença de áreas naturais de vegetação nas proximidades das estufas torna-se um fator importante no processo de realocação das colônias para a sobrevivência das mesmas. A Chácara Paraíso é composta por áreas de cultivo e de pastagens, mas conserva fragmentos de cerrado. Isso explica, com exceção do ninho atacado por forídeos, o aumento observado no número de operárias em atividade fora da estufa.

A partir dos resultados obtidos neste estudo e considerando-se os benefícios que a utilização de abelhas sem ferrão, sob condições de cultivo protegido, tem proporcionado a diversas culturas em termos de produtividade e qualidade dos frutos (Cruz e Campos 2009), a solução ideal seria a troca das coberturas plásticas por materiais que interfiram de forma menos acentuada na radiação solar que incide sobre as casas de vegetação. Ou então, uma

alternativa menos drástica seria a intercalação da cobertura plástica com tais materiais, permitindo que a difusão da radiação solar ocorra ao menos de forma parcial na casa de vegetação. Para o agricultor, levando-se em consideração a duração do ciclo do tomateiro da variedade *sweet grape* em estufas, o uso de abelhas sem ferrão deixa de ser interessante quando essas abelhas requerem muito tempo para se adaptarem e iniciarem as atividades de forrageamento. Entretanto, estudos que avaliem a relação custo-benefício dessas alterações estruturais em estufas ainda devem ser realizados e mais informações que permitam o aperfeiçoamento das técnicas de manejo de abelhas sem ferrão em casas de vegetação são necessárias.

Agradecimentos. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, ao Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira pelas sugestões dadas ao trabalho, aos agricultores Edson, Clóvis e João, que permitiram e deram todo o suporte para a realização deste estudo, e à bióloga Isabel Farias Aidar e à aluna Jaqueline Eterna Batista pelas contribuições em campo.

Referências bibliográficas

- Alves K.A. e Rosa R. 2008. Espacialização de dados climáticos do Cerrado mineiro. *Hor. Cient.* **8**: 1-28
- Amano K., Nemoto T. e Heard T. 2000. What are stingless bees and why and how to use them as crop pollinators? A review. *Jpn. Agric. Res. Q.* **34**: 183-190
- Bispo dos Santos S.A. 2008. Polinização em culturas de manjerição, *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae), berinjela, *Solanum melongena* L. (Solanaceae) e tomate *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae) por espécies de abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). Dissertação (Mestrado em Entomologia), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto
- Bispo dos Santos S.A., Roselino A.C., Hrnir M. e Bego L. R. 2009. Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Genet. Mol. Res.* **8**: 751-757
- Briscoe A.D. e Chittka L. 2001. The evolution of color vision in insects. *Annu. Rev. Entomol.* **46**: 471–510

- Buchmann S.L. 1983. Buzz pollination in angiosperms. In: *Handbook of Experimental Pollination Biology* (Jones C.E. e Little R.J., Ed). Scientific and Academic Editions, Nova York, pp 73-113
- Buchmann S.L. e Hurley J.P. 1978. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. *J. Theor. Biol.* **72**: 639-657
- Camargo J.M.F. e Pedro S.R.M. 2012. Meliponini Lepeletier, 1836. In: *Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoideae) in the neotropical region – online version* (Moure J.S., Urban D. e Melo G.A.R., Ed). Disponível em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>
- Cruz D.O. e Campos L.A.O. 2009. Polinização por abelhas em cultivos protegidos. *R. Bras. Agroc.* **15**: 5-10
- Cruz D.O., Freitas B.M., Silva L.A., Silva E.M.S. e Bomfim I.G.A. 2005. Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. *Pesq. Agropec. Bras.* **40**: 1197-1201
- Cuypers J. 1968. Using honeybees for pollinating crops under glass. *Bee World* **49**: 72-76
- Del Sarto M.C.L. 2005. Avaliação de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) como polinizador da cultura do tomateiro em cultivo protegido. Dissertação (Mestrado em Entomologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
- Del Sarto M.C.L., Peruquetti R.C. e Campos L.A.O. 2005. Evaluation of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as pollinator of greenhouse tomatoes. *J. Econ. Entomol.* **98**: 260-266
- Dyer F.C. 1994. Spatial cognition and navigation in insects. In: *Behavioral mechanisms in evolutionary ecology* (Real L.A., Ed). University of Chicago Press, Chicago, pp. 66-98
- Electro Plastic. 2013. E.L.V – Difusor Antivírus. Disponível em: <http://www.electroplastic.com.br/categorias/produto/42/e-l-v-difusor-antivirus.html>
- Farias J.R.B., Bergamaschi H., Martins S.R. e Berlatto M.A. 1993. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Rev. Brasil. Agrometeorologia* **1**: 31-36
- Fidalgo A.O. e Kleinert A.M.P. 2007. Foraging behavior of *Melipona rufiventris* Lepeletier (Apinae, Meliponini) in Ubatuba/SP, Brazil. *Braz. J. Biol.* **67**: 137-144
- Free J.B. 1993. *Insect pollination of crops*. Academic, San Diego
- Heard T.A. 1999. The role of stingless bees in crop pollination. *Ann. Rev. Entom.* **44**: 183-206
- Imperatriz-Fonseca V.L., Saraiva A.M., De Jong D. 2006. Information technology and pollinators initiatives. In: *Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices* (Imperatriz-Fonseca V.L., Saraiva A.M. e De Jong D., Ed). Holos Editora, Ribeirão Preto, pp 20-20

- Kerr W.E. 1973. Sun compass orientation in the stingless bees *Trigona* (*Trigona*) *spinipes* (Fabricius, 1793) (Apidae). *An. Acad. Brasil. Ciênc.* **45**: 301-308
- Köppen W. 1948. *Climatologia: conunestudio de los climas de latierra*. Fondo de Cultura Econômica, México
- Kovach W.L. 2011. Oriana – Circular Statistics for Windows, ver. 4. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.
- Malagodi-Braga K.S. 2002. Estudo de agentes polinizadores em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duchesne – Rosaceae). Tese (Doutorado em Ciências - Área de Ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo
- Malagodi-Braga K.S., Kleinert A.M.P. e Imperatriz-Fonseca V.L. 2004. Abelhas sem ferrão e polinização. *R. Tecn. Amb.* **10**: 59-70
- McGregor S.E. 1976. *Insect pollination of cultivated crop plants*. United States Department of Agriculture, Washington
- Michener C.D. 2007. *The bees of the world*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Nogueira-Neto P. 1997. *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. Edições Nogueirapis, São Paulo
- Nunes-Silva P., Hrnir M. e Imperatriz-Fonseca V. L. 2010. A polinização por vibração. *Oecol. Aust.* **14**: 140-151
- Roselino A.C., Santos S.B., Hrnir M. e Bego L.R. 2009. Differences between the quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* and *Nannotrigona testaceicornis*. *Genet. Mol. Res.* **8**: 539-545
- Roselino A.C., Bispo dos Santos S.A. e Bego L.R. 2010. Qualidade dos frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) a partir de flores polinizadas por abelhas sem ferrão (*Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier 1836 e *Melipona scutellaris* Latreille 1811) sob cultivo protegido. *R. Bras. Bioci.* **8**: 154-158
- Schwengber F.E., Peil R.M.N., Martins S.R. e Assis F.N. 1996. Comportamento de duas cultivares de morangueiro em estufa plástica em Pelotas – RS. *Hortic. Bras.* **14**: 143-147
- Shashar N. e Cronin T.W. 1998. The polarization of light in a Tropical Rain Forest. *Biotropica* **30**: 275-285
- Silveira F.A., Melo G.A.R. e Almeida E.A.B. 2002. *Abelhas brasileiras: sistemática e identificação*. Fundação Araucária, Belo Horizonte
- Zar J.H. *Biostatistical Analysis - Fifth Edition*. Prentice-Hall/Pearson, Nova Jersey

Capítulo 2

Serviços de polinização prestados por *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera, Meliponina) em cultivos fechados de *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae)

RESUMO. As abelhas sem ferrão são consideradas as mais promissoras no uso como polinizadores comerciais, porém, estudos testando a eficiência de polinização dessas abelhas na variedade de tomate *sweet grape*, em casas de vegetação, ainda não haviam sido realizados. Este estudo teve como objetivos analisar a biologia floral do tomateiro da variedade *sweet grape* e avaliar se a polinização adicional realizada por *Melipona quadrifasciata* gera um aumento efetivo na produção e melhora a qualidade dos tomates dessa variedade em ambientes protegidos. O trabalho foi desenvolvido em duas casas de vegetação localizadas em Araguari-MG, Brasil. Em uma delas, utilizou-se somente o método mecânico de polinização e, na outra, a polinização pelo método mecânico foi associado à realizada pelas abelhas. A produtividade das casas de vegetação foi comparada por meio do registro do número de flores e frutos formados em diferentes ramos e a qualidade dos tomates foi avaliada através da análise do tamanho, peso, número de sementes e concentração de açúcares totais. Tomates originados de flores visitadas por operárias de *M. quadrifasciata* apresentaram cerca de 47% mais sementes e foram aproximadamente 14% mais concentrados em açúcares. Esses resultados sugerem que a utilização de *M. quadrifasciata* para polinização do tomateiro se mostra promissora, uma vez que efeitos positivos são gerados na qualidade dos frutos.

PALAVRAS-CHAVE: abelhas sem ferrão, casa de vegetação, horticultura, tomate, qualidade

ABSTRACT. The stingless bees are considered the most promising in use as commercial pollinators, but studies testing the effectiveness of these bees in pollination of grape tomato variety, in greenhouses, had not yet been made. This study aimed to analyze floral biology of the grape tomato and evaluate whether additional pollination performed by *Melipona quadrifasciata* generates an effective increase in production and improves the quality of this variety of tomatoes grown in greenhouses. The research was conducted in two greenhouses located in Araguari-MG, Brazil. In one, we used only the mechanical method of pollination

and, in the other, pollination by mechanical method was associated with pollination performed by the bees. The productivity of the greenhouses was compared by recording the number of flowers and fruits formed into different branches and quality of tomatoes was assessed by analyzing the size, weight, number of seeds and total sugar content. Tomatoes originated from flowers visited by workers of *M. quadrifasciata* produced about 47% more seeds and were approximately 14% more concentrated in sugars. These results suggest that the use of *M. quadrifasciata* for pollination of tomato shows promise, since positive effects were generated on fruit quality.

KEY WORDS: stingless bees, greenhouse, horticulture, tomato, quality

Introdução

Os serviços ecossistêmicos são definidos como benefícios proporcionados pelos organismos que interagem nos ecossistemas para o bem estar do homem (Daily 1997). Dentre eles, a polinização, especialmente a realizada por insetos, tem se mostrado como um serviço essencial, sendo responsável por aproximadamente 35% da produção agrícola mundial (Klein et al. 2007). Nesse contexto, em função do papel fundamental que exercem em diversos ecossistemas (Bawa 1990), as abelhas tem se destacado cada vez mais, uma vez que são as principais responsáveis pela polinização de muitas espécies de plantas nativas e cultivadas, garantindo a manutenção da variabilidade genética das primeiras e a produtividade e qualidade dos frutos das últimas (Kremen 2005).

Estima-se que de um total de 40.000 espécies de polinizadores, 20.000 sejam abelhas (Michener 2007) e que 73% das espécies vegetais cultivadas no mundo sejam polinizadas por esses insetos (FAO 2004). No Brasil, a eficácia da polinização por abelhas já foi confirmada para várias culturas, seja em ambientes protegidos ou abertos. Quanto às cultivadas em casas de vegetação, merecem destaque: berinjela, utilizando-se *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 como polinizador (Bispo dos Santos 2008); manjerição, testado com *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (Bispo dos Santos 2008); morango, testado com *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811 (Malagodi-Braga 2002), *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Roselino et al. 2009) e *N. testaceicornis* (Roselino et al. 2009); pimentão, utilizando-se *M. subnitida* Ducke, 1910 (Cruz et al. 2005), *M. quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Roselino et al. 2010) e *M. scutellaris* Latreille, 1811 (Roselino et al. 2010); e tomate, testado com *M.*

quadrifasciata (Del Sarto et al. 2005, Bispo dos Santos et al. 2009) e *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Bispo dos Santos et al. 2009).

O tomateiro, *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae), é uma das plantas olerícolas mais difundidas no mundo, sendo o fruto amplamente consumido e de grande importância ao organismo humano, principalmente pela presença do licopeno, um antioxidante que combate os radicais livres e retarda o envelhecimento (Shami e Moreira 2004). Podendo ser cultivado tanto em áreas abertas quanto em estufas, o tomateiro é uma planta autofértil, sendo que suas flores são perfeitas, não produzem néctar e apresentam anteras poricidas. Assim, para que a liberação do pólen e, conseqüentemente, a polinização ocorram, é necessário que haja a vibração das anteras com a conseqüente abertura das mesmas (Buchmann 1983).

Quando cultivado em áreas abertas, a liberação do pólen é realizada pelo vento (McGregor 1976, Free 1993) e/ou por polinizadores naturais, principalmente abelhas (aquelas que apresentam o comportamento vibratório ou *buzz-pollination*; Nunes-Silva et al. 2010), que tem livre acesso às flores. Quanto ao cultivo em ambientes protegidos, a polinização é, geralmente, realizada através do método mecânico de vibração das flores, como alternativa para a ausência de vento e de polinizadores naturais. Entretanto, o método mecânico, além de aumentar os custos da produção com a contratação de mão-de-obra, pode provocar danos às flores e, conseqüentemente, aos frutos (Cribb et al. 1993, Ilbi et al. 1994, Dogterom et al. 1998).

Dessa forma, o número de estudos envolvendo o manejo de polinizadores em casas de vegetação tem crescido continuamente nos últimos anos. Dentre os polinizadores do tomateiro em estufas, destacam-se *Amegilla chlorocyanea* Cockerell, 1914 (Hogendoorn et al. 2006), abelhas dos gêneros *Xylocopa* (*Lestis*) Lepeletier & Serville, 1828 (Hogendoorn et al. 2000) e *Bombus* Latreille, 1802 (Morandin et al. 2001) e as abelhas sem ferrão *N. perilampoides* Cresson, 1878 (Cauich et al. 2004, Palma et al. 2008) e, como mencionado anteriormente, *M. quadrifasciata* (Del Sarto et al. 2005, Bispo dos Santos et al. 2009, Hikawa e Miyanaga 2009).

As abelhas sem ferrão são consideradas as mais promissoras no uso como polinizadores comerciais (Cruz e Campos 2009), tendo em vista que não apresentam um ferrão funcional, são facilmente domesticadas, possuem ninhos populosos e perenes, apresentam estratégias de recrutamento de operárias e estocam uma grande quantidade de alimento, forrageando continuamente (Heard 1999, Malagodi-Braga et al. 2004). *M. quadrifasciata* é uma abelha sem ferrão que apresenta uma ampla distribuição pelo território brasileiro, além de estar presente em países como Argentina e Paraguai (Camargo e Pedro

2012). Esta espécie já se mostrou um eficiente polinizador do tomateiro, porém, estudos testando a eficiência de polinização dessa abelha na variedade *sweet grape*, em casas de vegetação, ainda não foram realizados. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivos: (1) analisar a biologia floral do tomateiro, variedade *sweet grape*; e (2) avaliar a eficiência de *M. quadrifasciata* na polinização de tomate da variedade *sweet grape* em ambientes protegidos, buscando verificar se a introdução de ninhos dessa espécie gera um aumento efetivo na produção e melhora a qualidade dos frutos.

Material e Métodos

Área de estudo. O trabalho foi desenvolvido em duas casas de vegetação idênticas localizadas na Chácara Paraíso, no município de Araguari-MG (18°39'3,55"S/48°11'7,51"O). Este município se configura como um polo de produção de alimentos, com aproximadamente 98.487ha de área agricultável e uma produção estimada de 70.631 toneladas de tomate por ano (IBGE 2012).

O clima da região é marcado por duas estações bem definidas, uma chuvosa que se estende de outubro a março e outra seca de abril a setembro. A precipitação anual varia entre 1160 a 1460mm/ano e a temperatura média anual está entre 23 e 25°C, sendo uniforme ao longo do ano (Alves e Rosa 2008).

As casas de vegetação apresentavam cerca de 1344m² (48m x 28m), sendo cobertas na parte superior com um filme plástico Extra Longa Vida (ELV) Difusor Antivírus, com 0,100µm de espessura e filtro ultravioleta, e totalmente fechadas nas laterais com telas antiafídicas. Além disso, apresentavam 24 linhas de cultivo e cada uma destas possuía em média 112 tomateiros, totalizando 2688 plantas.

Biologia floral. As análises de biologia floral foram realizadas em uma das casas de vegetação e os parâmetros avaliados incluem aspectos sobre morfologia floral, quantidade de flores abertas por planta, duração da flor, viabilidade polínica e receptividade do estigma.

Com relação à morfologia floral, as estruturas de um total de 20 flores de plantas diferentes foram analisadas. As medidas de diâmetro floral e comprimento da antera, do pistilo e do estilete foram mensuradas por meio de um paquímetro digital. A contagem do número de flores abertas por planta foi realizada em 40 indivíduos diferentes selecionados ao acaso.

Quanto à duração das flores, 50 botões florais foram marcados e acompanhados para determinação do horário de abertura, duração da antese e senescência das mesmas. A

viabilidade polínica foi testada de forma indireta por coloração com carmim acético a 2% (Kearns e Inouye 1993) em 20 botões em pré-antese de plantas distintas, sendo estimada a partir da observação, em microscópio óptico, dos 300 primeiros grãos de pólen de cada um dos botões.

A receptividade do estigma foi testada em 10 botões verdes (com cerca de três dias antes da antese), 10 botões em pré-antese e em um total de 55 flores recém-abertas das 07 às 18h (cinco flores a cada hora), utilizando peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 3%. A receptividade pode ser detectada pela formação de bolhas de ar (Kearns e Inouye 1993).

Experimentos de polinização com *Melipona quadrifasciata*. Para a realização dos experimentos de polinização, as casas de vegetação apresentavam o mesmo tempo de plantio. Uma delas foi utilizada como controle, onde era realizado somente o método mecânico de polinização, na qual as plantas e, conseqüentemente, as flores eram vibradas por meio de um soprador de folhas. Na outra estufa, foram introduzidos em março de 2012, no início da floração do tomate, seis ninhos de *M. quadrifasciata* com tamanhos populacionais similares. Nessa estufa, a polinização ocorreu pelo método mecânico associado à polinização realizada pelas abelhas.

Antes da introdução, para evitar a mortalidade que ocorre durante os primeiros dias em decorrência da dificuldade de orientação das abelhas dentro da estufa (B. F. Bartelli, comunicação pessoal, Del Sarto 2005), grande parte das operárias campeiras dos ninhos foi transferida (através de reposicionamento dos mesmos) para outras colônias localizadas no Meliponário da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG. Além disso, com esse mesmo intuito, os ninhos foram introduzidos na estufa após o anoitecer (Cuypers 1968).

A fim de permitir uma distribuição homogênea das abelhas nas flores, os ninhos foram dispostos uniformemente na região central da casa de vegetação (Free 1993) e instalados em toras de eucalipto que se encontravam no interior das linhas de cultivo, utilizando caixas de plástico como suporte. No interior da casa de vegetação, foram disponibilizados em cima das caixas recipientes contendo água, barro e cerume de *Tetragonisca angustula* (fonte alternativa para a resina vegetal), que era conservado em álcool de cereais e disponibilizado somente após a evaporação do álcool. Assim, esses recursos puderam ser coletados livremente pelas abelhas.

Os ninhos foram alimentados esporadicamente com pólen de *Apis mellifera*, macerado com água e açúcar, até o início das atividades de forrageamento nas flores, e semanalmente com xarope (mistura de mel de *A. mellifera*, água e açúcar na proporção 1:1:1), ao longo de

todo o período de confinamento. Para a aplicação de pesticidas, método que faz parte do manejo realizado, as entradas dos ninhos eram vedadas com papel, sendo eles protegidos com lonas plásticas e os recipientes cobertos com caixas de papelão. Essas proteções eram retiradas somente após a secagem do pesticida e as entradas dos ninhos desobstruídas após o anoitecer.

Para avaliar a eficiência de polinização de *M. quadrifasciata*, após o início das atividades de forrageamento das abelhas nas flores, a produtividade das duas casas de vegetação estudadas foi comparada por meio da marcação de 20 ramos de plantas diferentes (selecionados aleatoriamente) em cada uma delas. O número total de flores e frutos produzidos ao longo do tempo em cada um dos ramos foi registrado.

Os frutos diminuem de tamanho da base para o ápice dos ramos. Assim, para verificar se a polinização adicional realizada por *M. quadrifasciata* melhora a qualidade do tomate, a posição que cada fruto ocupava no ramo foi levada em consideração. Foram coletados 25 frutos originados de flores efetivamente visitadas por abelhas (após observação da visita e marcação da flor) na estufa experimental e 25 frutos correspondentes na estufa controle. Todos eles foram colhidos em um estágio intermediário de maturação (no início da fase avermelhada) e analisados no dia da colheita.

Além disso, como os tomates diminuem de tamanho e peso das primeiras safras para as seguintes, ou seja, com a idade do cultivo (Hill 2001), os frutos de ambas as casas de vegetação foram coletados no mesmo período. A qualidade dos mesmos foi avaliada através dos seguintes parâmetros: tamanho (medida dos diâmetros longitudinal e equatorial), utilizando um paquímetro digital; peso, mediante a utilização de uma balança digital; número de sementes, contadas de forma direta; e concentração de açúcares totais (°Brix), por meio de um refratômetro analógico portátil, após a retirada das sementes e a maceração do restante do fruto.

Análises estatísticas. Para verificar se a produção de tomates depende da introdução de ninhos, foi realizada uma Análise de Covariância (ANCOVA), tendo o número de flores dos ramos como covariável (Zar 2010). Para verificar se a qualidade dos frutos depende da polinização adicional efetuada pelas abelhas, foi realizado um teste t pareado (Zar 2010) para cada um dos parâmetros analisados.

Resultados

Biologia floral. Os resultados referentes à morfologia floral e ao número médio de flores abertas por planta encontram-se na Tabela 1. As flores duraram em média cinco dias, sendo que elas se fechavam à noite e voltavam a abrir entre 6h30min e 7h00min, estando totalmente abertas às 8h00min.

Quanto à viabilidade polínica, uma média de 97,97% dos grãos de pólen presentes nas anteras foi viável. O estigma das flores recém-abertas se mostrou receptivo durante todo o período de avaliação, ou seja, das 7h00min às 18h00min. Antes mesmo de abrirem, as flores do tomateiro da variedade *sweet grape* se apresentaram aptas a serem fecundadas, tendo em vista que o estigma de todos os botões em pré-antese e botões verdes analisados se mostraram receptivos.

Tabela 1. Valores mínimo, máximo e médio (\pm desvio padrão) do diâmetro floral, comprimento da antera, comprimento do pistilo, comprimento do estilete e número de flores abertas por tomateiro

Dados estatísticos	Diâmetro floral (mm)	Comp. antera (mm)	Comp. pistilo (mm)	Comp. estilete (mm)	Número de flores/planta
Mínimo	28,76	8,36	9,96	7,53	5
Máximo	33,85	9,15	11,3	8,87	31
Média (\pm DP)	31,31 (\pm 1,33)	8,79 (\pm 0,22)	10, 56 (\pm 0,36)	8,01 (\pm 0,39)	16,07 (\pm 6,39)

Experimentos de polinização com *Melipona quadrifasciata*. Dos seis ninhos introduzidos, somente dois permaneceram ao longo de todo o ciclo de floração do tomateiro na casa de vegetação (sete meses). Com relação aos outros quatro ninhos, dois não resistiram às condições de confinamento e dois foram retirados da estufa depois de confinados por três meses para evitar a perda dos mesmos. A coleta de pólen do tomateiro por parte das operárias se iniciou após cerca de seis meses de confinamento.

A introdução de ninhos de *M. quadrifasciata* não gerou um aumento efetivo na produção de tomates da variedade *sweet grape*, uma vez que o número médio de frutos não diferiu entre os tratamentos ($F = 0,70$; $gl = 1$; $p = 0,41$; Figura 1). No entanto, os frutos originados de flores visitadas pelas abelhas apresentaram cerca de 47% mais sementes ($/t/ = 4,231$; $gl = 24$; $p < 0,001$) e foram aproximadamente 14% mais concentrados em açúcares ($/t/ = 5,91$; $gl = 24$; $p < 0,001$) quando comparados aos originados de flores polinizadas somente pelo método mecânico. Em relação aos demais parâmetros associados à qualidade dos frutos, a polinização adicional efetuada pelas abelhas não gerou um aumento no tamanho, ou seja, nos diâmetros longitudinal ($/t/ = 0,811$; $gl = 24$; $p = 0,425$) e equatorial ($/t/ = 0,053$; $gl = 24$; $p = 0,958$), e no peso ($/t/ = 0,169$; $gl = 24$; $p = 0,867$) dos tomates produzidos (Tabela 2).

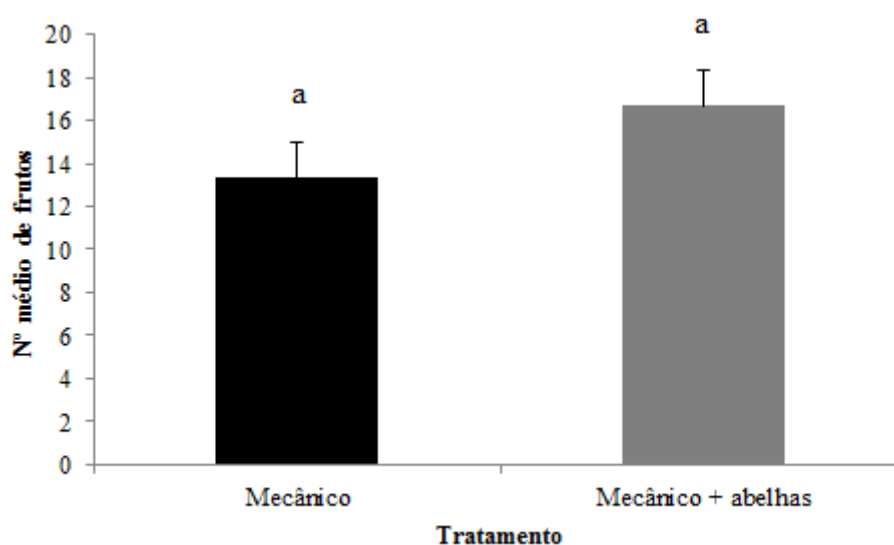


Fig. 1. Número médio (\pm erro padrão) de frutos formados por ramo em duas estufas de tomate da variedade *sweet grape*, uma controle (somente método mecânico de polinização) e uma na qual foram introduzidas abelhas da espécie *Melipona quadrifasciata* (polinização pelo método mecânico + polinização por abelhas), em Araguari-MG. Letras iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 2. Valores médios (\pm desvio padrão) de cada um dos parâmetros relacionados à qualidade dos frutos nos dois diferentes tratamentos

Atributo do fruto	Tratamento de polinização	
	Mecânico	Mecânico + abelhas
Diâmetro longitudinal (mm)	29,14 (\pm 1,89)a	29,67 (\pm 2,81)a
Diâmetro equatorial (mm)	21,40 (\pm 1,82)a	21,38 (\pm 1,89)a
Peso (g)	7,261 (\pm 1,512)a	7,196 (\pm 1,733)a
Número de sementes	56,92 (\pm 23,18)a	83,72 (\pm 23,30)b
Concentração de açúcares ($^{\circ}$Brix)	6,51 (\pm 0,51)a	7,40 (\pm 0,69)b

Médias seguidas por letras distintas são significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Discussão

Por meio de melhoramento genético, diversas variedades de tomate foram e tem sido estrategicamente criadas para atender os diferentes paladares do consumidor. Dentre elas, a variedade *sweet grape* tem se tornado cada vez mais popular, uma vez que a doçura, o tamanho pequeno e o formato oblongo (semelhante à uva) dos frutos os deixam atrativos para a culinária, sendo utilizados, por exemplo, como ingredientes em saladas (Hill 2001).

Em relação ao seu potencial produtivo, ou seja, sua eficiência na formação de frutos, a variedade estudada se mostra promissora, visto que uma grande porcentagem dos grãos de pólen presentes nas anteras é viável. Do mesmo modo, outro aspecto importante se relaciona à receptividade do estigma, que se mostra receptivo três dias antes da antese e, em flores recém-abertas, ao longo de um extenso período do dia.

Resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo foram encontrados para o tomate longa-vida da variedade Rodas quanto ao horário de abertura das flores (Del Sarto 2005). Quando comparada à variedade Forty, as flores da *sweet grape* são maiores e o número de flores abertas por planta é consideravelmente superior (dados não publicados). Além disso, assim como as demais variedades de tomate, as flores da *sweet grape*, como já era esperado, apresentam as anteras maiores que os estiletes, o que favorece a ocorrência de autopolinização.

Quanto à produtividade, diferentes resultados foram encontrados em variados estudos que utilizaram abelhas sem ferrão na polinização do tomateiro em casas de vegetação (Cauch et al. 2004, Del Sarto et al. 2005, Palma et al. 2008, Bispo dos Santos et al. 2009, Hikawa e

Miyanaga 2009). Em um desses estudos, a ineficiência de *Melipona quadrifasciata* em aumentar a produção de tomates foi explicada pela sobreposição de apenas 30 minutos entre o pico de atividade das operárias e o período de maior receptividade do estigma das flores (Del Sarto et al. 2005). Entretanto, como mencionado anteriormente, o estigma das flores da variedade *sweet grape* mostra-se receptivo das 7h00min às 18h00min, intervalo de tempo que abrange quase todo o período de forrageamento de operárias de *M. quadrifasciata* (dados não publicados).

Assim, no presente estudo, a ausência de diferença no número médio de frutos produzidos nos tomateiros submetidos aos distintos tratamentos (método mecânico e método mecânico + abelhas) poderia ser explicada pela eficiência do método mecânico de vibração das flores na polinização do tomate em ambientes protegidos. No entanto, é improvável que a dispersão aleatória de grãos de pólen no ar, gerada pelo soprador de folhas, seja tão eficaz quanto a exatidão de uma abelha ao visitar uma flor em busca de um recurso alimentar.

Dessa forma, considerando-se o tamanho da casa de vegetação estudada, a ineficiência de *M. quadrifasciata* em aumentar a produção de tomates neste trabalho está relacionada, provavelmente, à baixa densidade de ninhos no interior da estufa, tendo em vista que somente dois dos seis introduzidos permaneceram até o final dos experimentos. Adicionalmente, o número de operárias campeiras em atividade em cada um dos ninhos era muito baixo frente à quantidade de flores disponíveis para a coleta de pólen (B. F. Bartelli, comunicação pessoal).

Em um estudo realizado com *Tetragonisca angustula* (Jataí), em ambiente protegido, recomenda-se a utilização de um ninho a cada 42,5m² de área cultivável para uma boa formação do fruto do morangueiro e, conseqüentemente, um aumento na produtividade do mesmo (Antunes 2005). Contudo, a biologia e o comportamento de forrageamento diferem entre as espécies de abelhas sem ferrão e, além disso, os requerimentos de polinização das distintas espécies vegetais cultivadas não são os mesmos. Tais fatores devem ser levados em consideração para possíveis comparações.

Com isso, apesar das variedades de tomate utilizadas terem sido diferentes, uma comparação mais direta pode ser feita com o trabalho desenvolvido por Del Sarto et al. (2005). De acordo com estes autores, duas colônias de *M. quadrifasciata* seriam suficientes para a polinização de uma estufa com 858-1.534 tomateiros (uma proporção de um ninho para 429-767 plantas). Essas estimativas foram realizadas considerando-se que, em um ninho forte de *M. quadrifasciata*, cerca de 6% (Jarau et al. 2000) de um total aproximado de 890 abelhas (Michener 1974) são operárias campeiras e que, para a coleta de pólen, cada uma delas visita de 28 a 50 flores de tomate a cada viagem (Del Sarto et al. 2005). No presente estudo,

entretanto, além do baixo número de operárias campeiras em atividade, a densidade foi de 0,001 ninho/m² e a proporção foi de uma colônia para 1.344 tomateiros, não sendo suficiente para um incremento na produção.

Apesar disso, de modo geral, uma melhora pode ser observada na qualidade do fruto. O maior número de sementes encontrado em tomates originados de flores visitadas por operárias de *M. quadrifasciata* denota a eficiência desta espécie na polinização do tomateiro. Comparado ao método mecânico, o comportamento de *buzz pollination* realizado por várias espécies de abelhas, como *M. quadrifasciata*, resulta em um aumento no número de grãos de pólen depositado no estigma das flores, aumentando, assim, a quantidade de sementes dos frutos (Hogendoorn et al. 2000).

Embora diversos estudos tenham mostrado a existência de uma correlação positiva entre o número de sementes e o tamanho e o peso dos tomates (Dempsey e Boynton 1965, Imanishi e Hiura 1975, Hogendoorn et al. 2010), não houve diferença nesses dois últimos parâmetros entre os tratamentos realizados. O tamanho e o peso do fruto estão relacionados, entre outros fatores, à quantidade de água utilizada na rega, determinando a maior ou menor concentração de componentes solúveis (Casquet 1998). Além disso, altos índices pluviométricos desencadeiam também uma produção de tomates maiores, porém com um menor conteúdo de nutrientes e de sabor menos acentuado (Casquet 1998, Silva e Giordano 2000). No entanto, as casas de vegetação utilizadas se encontravam dispostas uma ao lado da outra e eram manejadas da mesma forma, eliminando tais possibilidades.

O conhecimento a respeito da variedade de tomate estudada ainda é bastante rudimentar. Entretanto, aparentemente, os frutos desenvolvem-se de maneira igualitária independente do grau de polinização, ou seja, da quantidade de grãos de pólen depositados no estigma das flores e, conseqüentemente, do número de sementes. Isso explicaria, em relação aos atributos tamanho e peso, a semelhança encontrada entre os frutos polinizados somente pelo método mecânico e os polinizados adicionalmente pelas abelhas.

Apesar disso, os tomates originados de flores visitadas pelas abelhas foram consideravelmente mais concentrados em açúcares. Pouco se sabe sobre os mecanismos envolvidos na acumulação de açúcares no processo de desenvolvimento do tomate (Damon et al. 1988). Contudo, a maior concentração de carboidratos nos frutos resultantes da polinização adicional efetuada pelas abelhas pode estar relacionada à maior quantidade de sementes nos mesmos. Isso porque, através da produção de hormônios, o número de sementes pode interferir e estimular os processos de divisão e expansão celular, aumentando, assim, a

capacidade de armazenamento de sólidos solúveis das células (Gillaspy et al. 1993, Prudent et al. 2009).

Do ponto de vista da ciência dos alimentos, a qualidade é composta pelas características que diferenciam unidades individuais de um produto, sendo significativa a determinação do grau de aceitabilidade pelo comprador (Chitarra e Chitarra 1990). Em relação ao tomate, a qualidade é fortemente associada ao conteúdo de sólidos solúveis, sendo os açúcares os componentes principais dessa fração (Damon et al. 1988). Assim, a partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que a utilização de *M. quadrifasciata* para polinização do tomateiro se mostra promissora, uma vez que efeitos positivos são gerados na qualidade dos tomates originados de flores visitadas pelas operárias.

No Brasil, nos últimos anos, o uso de abelhas sem ferrão em sistemas agrícolas, sob condições de cultivo protegido, tem se difundido cada vez mais e apresentado resultados excepcionais (Cruz e Campos 2009), contrapondo a alternativa de utilização de polinizadores exóticos e proporcionando uma maior percepção sobre a importância de conservação dessas abelhas. No entanto, faz-se necessário ainda o aperfeiçoamento de técnicas de multiplicação de ninhos e de manejo específicas para as diferentes espécies, principalmente em ambientes protegidos, para disponibilização e utilização desses insetos na agricultura em larga escala. Com o aprimoramento dessas técnicas de manejo, densidades adequadas de abelhas para polinização de diferentes culturas poderiam ser obtidas através da manutenção de uma maior quantidade de ninhos no interior de casas de vegetação. Assim, com a utilização de *M. quadrifasciata*, por exemplo, seria possível aliar a melhora na qualidade dos frutos ao aumento na produtividade do tomateiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, aos agricultores Edson, Clóvis e João, que permitiram e deram todo o suporte para a realização deste trabalho, à Dra. Marcela Yamamoto pelas instruções nos experimentos de biologia floral, à Ma. Camila Nonato Junqueira pelo incentivo e pelas sugestões dadas ao trabalho e ao biólogo Alexandre Oliveira Resende Santos pelas contribuições em campo.

Referências bibliográficas

- Alves, K. A., e R. Rosa. 2008.** Espacialização de dados climáticos do Cerrado mineiro. *Hor. Cient.* 8: 1-28.
- Antunes, O. T. 2005.** Abelha jataí como agente polinizador de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.
- Bawa, K. S. 1990.** Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 21: 399-422.
- Bispo dos Santos, S. A. 2008.** Polinização em culturas de manjerição, *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae), berinjela, *Solanum melongena* L. (Solanaceae) e tomate *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae) por espécies de abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). Dissertação (Mestrado em Entomologia), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Bispo dos Santos, S. A., A. C. Roselino, M. Hrncir, e L. R. Bego. 2009.** Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Genet. Mol. Res.* 8: 751-757.
- Buchmann, S. L. 1983.** Buzz pollination in angiosperms, pp. 73-113. *In* C. E. Jones e R. J. Little (eds.), *Handbook of Experimental Pollination Biology*. Scientific and Academic Editions, Nova York, EUA.
- Camargo, J. M. F., e S. R. M. Pedro. 2012.** Meliponini Lepeletier, 1836. *In* J. S. Moure, D. Urban e G. A. R. Melo (orgs.), *Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region – online version*. Disponível em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>.
- Casquet, E. 1998.** Principios de economía agraria. Acribia, Zaragoza, Espanha.
- Cauich, O., J. J. C. Quezada-Euán, J. O. Macias-Macias, V. Reyes-Orecel, S. Medina-Peralta, e V. Parra-Tabla. Behavior and pollination efficiency of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) on greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in subtropical Mexico. *J. Econ. Entomol.* 97: 475-481.**
- Chitarra, M. I., e A. B. Chitarra. 1990.** Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. ESAL/FAEPE, Lavras, Brasil.
- Cribb, D. M., D. W. Hand, e R. N. Edmondson. 1993.** A comparative study of the effects of using the honeybee as a pollinating agent of glasshouse tomato. *J. Hort. Sci.* 68: 79-88.

- Cruz, D. O., e L. A. O. Campos. 2009.** Polinização por abelhas em cultivos protegidos. R. Bras. Agroc. 15: 5-10.
- Cruz, D. O., B. M. Freitas, L. A. Silva, E. M. S. Silva, e I. G. A. Bomfim. 2005.** Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. Pesq. Agropec. Bras. 40: 1197-1201.
- Cuyppers, J. 1968.** Using honeybees for pollinating crops under glass. Bee World 49: 72-76.
- Daily, G. C. 1997.** Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC, EUA.
- Damon, S., J. Hewitt, M. Nieder, e A. B. Bennett. 1988.** Sink metabolism in tomato fruit: phloem unloading and sugar uptake. Plant Physiol. 87: 731-736.
- Del Sarto, M. C. L. 2005.** Avaliação de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) como polinizador da cultura do tomateiro em cultivo protegido. Dissertação (Mestrado em Entomologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Del Sarto, M. C. L., R. C. Peruquetti, e L. A. O. Campos. 2005.** Evaluation of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as pollinator of greenhouse tomatoes. J. Econ. Entomol. 98:260-266.
- Dempsey, W. H., e J. E. Boynton. 1965.** Effect of seed number on tomato fruit size and maturity. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 86: 575-581.
- Dogterom, M. H., J. A. Matteoni, e R. C. Plowright. 1998.** Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenkii* (Hymenoptera: Apidae). J. Econ. Entomol. 91: 71-75.
- (FAO) Food and Agriculture Organization. 2004.** Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response. In B. M. Freitas e J. O. P. Pereira (eds.), Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination. Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil.
- Free, J. B. 1993.** Insect pollination of crops. Academic, San Diego, EUA.
- Gillaspy, G., H. Ben-David, e W. Gruissem. 1993.** Fruits: a developmental perspective. The Plant Cell 5: 1439-1451.
- Heard, T. A. 1999.** The role of stingless bees in crop pollination. Ann. Rev. Entom. 44: 183-206.
- Hikawa, M., e R. Miyanaga. 2009.** Effects of pollination by *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) on tomatoes in protected culture. Appl. Entom. Zool. 44: 301-307.
- Hill, D. E. 2001.** Grape tomato trials. Connec. Agric. Exp. Stat. - Bulletin 978.

- Hogendoorn, K., Z. Steen, e M. P. Schwarz. 2000.** Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumble bees for tomato pollination in greenhouses. *J. Apicult. Res.* 39: 67-74.
- Hogendoorn, K., M. Sedgley, C. L. Gross, e M. Keller. 2006.** Increased tomato yield through pollination by native Australian blue-banded bees (*Amegilla chlorocyanea* Cockerell). *J. Econ. Entomol.* 99: 828-833.
- Hogendoorn, K., F. Bartholomaeus, e M. A. Keller. 2010.** Chemical and sensory comparison of tomatoes pollinated by bees and by a pollination wand. *J. Econ. Entomol.* 103: 1286-1292.
- (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.
- Ilbi, H., K. Boztok, K. E. Cockshull, Y. Tuzel, e A. Gul. 1994.** The effects of different truss vibration durations on the pollination and fruit set of greenhouse grown tomatoes. *A. Hortic.* 366: 73-78.
- Imanishi, S., e I. Hiura. 1975.** Relationship between fruit weight and seed content in the tomato. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 44: 33-40.
- Jarau, S., M. Hrncir, R. Zucchi, e F. G. Barth. 2000.** Recruitment behavior in stingless bees, *Melipona scutellaris* and *M. quadrifasciata*: foraging at food sources differing in direction and distance. *Apidologie* 31: 81-91.
- Kearns, C. A., e D. Inouye. 1993.** Techniques for pollinations biologists. University press of Colorado, Niwot, EUA.
- Klein, A. M., B. E. Vaissiere, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, e T. Tscharntke. 2007.** Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. Biol. Sci.* 274: 303-313.
- Kremen, C. 2005.** Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecol. Lett.* 8: 468-79.
- Malagodi-Braga, K. S. 2002.** Estudo de agentes polinizadores em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duchesne – Rosaceae). Tese (Doutorado em Ciências - Área de Ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Malagodi-Braga, K. S., A. M. P. Kleinert, e V. L. Imperatriz-Fonseca. 2004.** Abelhas sem ferrão e polinização. *R. Tecn. Amb.* 10: 59-70.
- McGregor, S. E. 1976.** Insect pollination of cultivated crop plants. United States Department of Agriculture, Washington, EUA.

- Michener, C. D. 1974.** The social behavior of the bees – a comparative study. Belknap Press, Cambridge, MA.
- Michener, C. D. 2007.** The bees of the world. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, EUA.
- Morandin, L. A., T. M. Lavery, e P. G. Kevan. 2001.** Effect of bumble bee (Hymenoptera: Apidae) pollination intensity on the quality of greenhouse tomatoes. J. Econ. Entomol. 94: 178-179.
- Nunes-Silva, P., M. Hrnčir, e V. L. Imperatriz-Fonseca. 2010.** A polinização por vibração. Oecol. Aust. 14: 140-151.
- Palma, G., J. J. G. Quezada-Euán, V. Meléndez-Ramírez, J. Irigoyen, G. R. Valdovinos-Nunes, e M. Rejón. 2008.** Comparative efficiency of *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apoidea), and mechanical vibration on fruit production of enclosed habanero pepper. J. Econ. Entomol. 101: 132-138.
- Prudent, M., M. Causse, M. Genard, P. Tripodi, S. Grandillo, e N. Bertin. 2009.** Genetic and physiological analysis of tomato fruit weight and composition: influence of carbon availability on QTL detection. J. Exp. Bot. 60: 923-937.
- Roselino, A. C., S. B. Santos, M. Hrnčir, e L. R. Bego. 2009.** Differences between the quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* and *Nannotrigona testaceicornis*. Genet. Mol. Res. 8: 539-545.
- Roselino, A. C., S. A. Bispo dos Santos, e L. R. Bego. 2010.** Qualidade dos frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) a partir de flores polinizadas por abelhas sem ferrão (*Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier 1836 e *Melipona scutellaris* Latreille 1811) sob cultivo protegido. R. Bras. Bioci. 8: 154-158.
- Shami, N. J. I. E., e E. A. M. Moreira. 2004.** Licopeno como agente antioxidante. Rev. Nutr. 17: 227-236.
- Silva, J. B. C., e L. B. Giordano. 2000.** Tomate para processamento industrial. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa Hortaliças, Brasília, Brasil.
- Zar, J. H. 2010.** Biostatistical Analysis - Fifth Edition. Prentice-Hall/Pearson, Nova Jersey, EUA.

Conclusões gerais

O presente estudo incrementou o conhecimento sobre a biologia reprodutiva de *Lycopersicon esculentum* e sobre aspectos biológicos e ecológicos de *Melipona quadrifasciata*, servindo de suporte para futuros trabalhos visando ao manejo adequado desta espécie de abelha em áreas de cultivo fechadas. A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que o tomateiro da variedade *sweet grape* apresenta um alto potencial produtivo e que a utilização de *Melipona quadrifasciata* para polinização dessa variedade se mostra promissora, uma vez que efeitos positivos são gerados na qualidade dos frutos originados de flores visitadas pelas operárias. Apesar disso, a adaptabilidade de *M. quadrifasciata* às condições de confinamento se mostrou colônia-dependente. Mudanças estruturais nas estufas, como a troca das coberturas plásticas por materiais que interfiram de forma menos acentuada na radiação solar, permitiriam que densidades adequadas de operárias de *M. quadrifasciata* para polinização do tomateiro fossem obtidas através da manutenção de uma maior quantidade de ninhos no interior da casa de vegetação. Assim, a utilização dessa espécie possibilitaria, além da melhora na qualidade dos frutos, um o aumento na produção de tomates dentro da estufa.