

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E  
AMBIENTE**

**BIOLOGIA DA POLINIZAÇÃO E EFICÁCIA DE POLINIZADORES EM  
*Solanum melongena* L. (SOLANACEAE)**

**VIVIAN ZAMBON**

**ARARAS**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E  
AMBIENTE**

**BIOLOGIA DA POLINIZAÇÃO E EFICÁCIA DE POLINIZADORES EM  
*Solanum melongena* L. (SOLANACEAE)**

**VIVIAN ZAMBON**

**Orientadora:** Prof. Dra. Kayna Agostini

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente  
como requisito para obtenção do título de  
Mestre em Agricultura e Ambiente.

**ARARAS**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

Z24bp

Zambon, Vivian.

Biologia da polinização e eficácia de polinizadores em *Solanum melongena* L. (Solanaceae) / Vivian Zambon. -- São Carlos : UFSCar, 2015.  
82 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Polinização. 2. Abelha. 3. Polimorfismo floral. 4. Berinjela. I. Título.

CDD: 582.01662 (20<sup>ª</sup>)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias  
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

---

Folha de Aprovação

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Vivian Zambon, realizada em 26/02/2015:

*Kayna Agostini*

---

Profa. Dra. Kayna Agostini  
UFSCar

*Marina Torres*

---

Profa. Dra. Marina Wolowski Torres  
UNICAMP

*Roberta Nocelli*

---

Profa. Dra. Roberta Cornélio Ferreira Nocelli  
UFSCar

## AGRADECIMENTOS

À Prof. Kayna Agostini, por todo incentivo, pelas conversas e por toda ajuda nessa trajetória, me apoiando sempre, tanto nos momentos de alegria como nos não tão alegres assim. Meus sinceros agradecimentos por ter me mostrado as belezas que envolvem as plantas e seus polinizadores e por todo aprendizado neste período, que foi imenso!

À Prof. Roberta Nocelli, por me dar a oportunidade de ingressar no mestrado, por ceder um espaço de sua horta para meus estudos iniciais e pelas aulas e discussões riquíssimas, que com certeza contribuíram muito para minha formação.

Às Profs. Marina Wolowski, Roberta Nocelli e Valéria Forni Martins pelas contribuições na qualificação.

Ao André Rodrigo Rech, pelas valiosas contribuições para este trabalho e pelo auxílio com as análises de Microscopia de Fluorescência.

Aos Srs. Reinaldo e Paulo, por prontamente aceitarem ceder um espaço de suas plantações para a realização deste estudo. Agradeço pela oportunidade de troca de conhecimentos e, principalmente, por poder conviver esse tempo com pessoas tão especiais, que amam a terra e se dedicam a ela com muito empenho.

Aos técnicos João Emídio e Ângelo Cerantola do laboratório de Biologia da UFSCar, por me auxiliarem em minhas análises e estarem sempre prontos para sanarem minhas dúvidas.

À técnica Iara Bressan, do laboratório de Biossistemática da Unicamp, por todo o auxílio com as análises de Microscopia de Fluorescência. Agradeço pela amizade, pela disposição em me ajudar e especialmente pela paciência em realizar muitos testes e descobrir o melhor método para analisar os ovários da berinjela, possibilitando belas visualizações e fotos para este trabalho.

Ao técnico Antonio Yabuki, do Laboratório de Microscopia da Unesp Rio Claro, pelo preparo das amostras e auxílio nas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Ao PPGAA, por todo apoio financeiro e por possibilitar grandes aprendizados durante esse período.

À CAPES, pelo auxílio financeiro à pesquisa.

Às minhas companheiras de casa e de vida nesse período, Danda, Jaque, Larissa e Carina, por tudo o que vivemos juntas e que me faltam palavras para agradecer. Sem vocês a batalha teria sido mais árdua e não tão divertida, com certeza.

Aos amigos Paulo Vinícius, Lucas, Felipe, Fernando, Ana Mayumi e Letícia, por toda a amizade, carinho, ajuda e por poder compartilhar medos, anseios e alegrias em todos os momentos.

À Carol e ao Beto, primeiros vizinhos e amigos que fiz em Araras, pela boa companhia, boas conversas e pelo carinho.

Aos meus pais, por sempre apoiarem minhas escolhas, por toda ajuda durante esse período e por participarem ativamente da minha pesquisa, sempre com uma palavra de conforto e amor para oferecer.

Aos meus irmãos e cunhadas, por todo o apoio e ajuda desde sempre. Agradeço imensamente por tê-los em minha vida.

Ao Caio Vinícius, por todo amor e carinho e por sempre me incentivar em tudo o que faço. Agradeço por sempre estar ao meu lado, me dando força pra seguir e por toda a ajuda durante esse período.

Agradeço, de coração, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O processo de polinização é um serviço ecossistêmico fundamental para o desenvolvimento de diversas espécies vegetais, contribuindo largamente para o fornecimento da base da alimentação humana. Algumas espécies vegetais, como grande parte das do gênero *Solanum*, podem apresentar distintos morfos florais, que por sua vez podem influenciar em sua reprodução. Nesse contexto, o objetivo geral desse trabalho foi estudar a biologia da polinização de *Solanum melongena* L. (Solanaceae). Os objetivos específicos foram: 1) analisar a biologia e morfologia floral da espécie; 2) verificar o sistema reprodutivo e sexual da espécie; e 3) verificar a riqueza e o comportamento de seus visitantes florais. O estudo foi realizado em duas áreas de cultivo agrícola convencional, em Estiva Gerbi e Piracicaba, ambas no estado de São Paulo. Os visitantes florais foram observados entre fevereiro e junho de 2014. Os dados de morfometria floral foram coletados com auxílio de paquímetro manual e as diferenças entre as medidas foram testadas através do teste t. A estimativa da produção de pólen se deu através da contagem do número de grãos produzidos por antera. O número de grãos de pólen viáveis foi quantificado através da coloração citoplasmática, com a técnica do carmim acético. Para averiguar a relação entre a frequência dos polinizadores e a disponibilidade de pólen, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r). Para verificar a eficácia de diferentes polinizadores na formação de frutos e sementes da berinjela, foram selecionadas duas espécies de abelhas com comportamentos de forrageamento distintos: *Apis mellifera*, que não vibra e *Exomalopsis diminuta*, que vibra as anteras da flor para liberação do pólen. Análises de variância foram efetuadas para detecção de diferenças significativas entre os frutos formados por ambas espécies. O sistema reprodutivo foi analisado através da formação de tubos polínicos em diferentes horários após distintos tratamentos de polinização serem efetuados. Através da análise da morfometria floral, constatou-se diferença significativa entre os verticilos florais e reprodutivos dos diferentes morfos, caracterizando uma condição de polimorfismo na altura do estilete para *S. melongena*. As observações indicaram a presença de abelhas dos gêneros *Bombus*, *Xylocopa*, *Apis*, *Trigona*, *Pseudaugochloropsis*, *Oxaea* e *Exomalopsis*. Referente ao comportamento de cada espécie, notou-se uma variação tanto em relação à forma de coleta de pólen, quanto ao tempo de permanência na flor. Quanto ao sistema reprodutivo, notou-se formação de tubos polínicos ao longo do estilete e os mesmos chegando aos óvulos apenas em flores longistilas, o que pode indicar uma condição andromonóica para a espécie em estudo. Conclui-se para *Solanum melongena* que a ação dos polinizadores é de grande importância para seu desenvolvimento, uma vez que, mesmo sendo autocompatível, a autopolinização espontânea não foi suficiente para uma efetiva fecundação de seus óvulos. Existem várias espécies que exercem papel de polinizadores, porém espécies que possuem o comportamento vibratório contribuem de maneira mais efetiva para o desenvolvimento desta cultura.

**Palavras-chave:** abelhas, polimorfismo floral, polinização por vibração

## ABSTRACT

The pollination is an essential environmental service to the development of various plant species, contributing to the provision of basic human food. Some species, like much of the genus *Solanum*, may present different floral morphs, which in turn can influence its reproduction. In this context, this study aimed to study the biology of pollination of *Solanum melongena* L. (Solanaceae). The specific objectives were: 1) to analyze the biology and floral morphology of the species; 2) verify the reproductive and sexual system of the species; and 3) to verify the wealth and the behavior of your floral visitors. The study was conducted in two areas of conventional agricultural crop in Estiva Gerbi and Piracicaba, both in the state of São Paulo. The floral visitors were observed between February and June 2014. The data of floral morphometry were collected with the aid of manual caliper and the differences between the measures were tested using the t test. The estimation of pollen production was given by counting the number of grains produced by anther. The number of viable pollen grains was quantified by cytoplasmic staining, with the technique of acetic carmine. To investigate the relationship between the frequency of pollinators and the availability of pollen, we calculated the Pearson correlation coefficient (r). To check the effectiveness of different pollinators in the formation of fruits and seeds of eggplant, we selected two species of bees with different foraging behaviors: *Apis mellifera*, which does not vibrate and *Exomalopsis diminuta*, which vibrates the flower anthers to release pollen. Variance analyses were performed to detect significant differences between fruits developed by both species. The reproductive system was analyzed by the formation of pollen tubes at different times after pollination different treatments are performed. Through the morphometric analysis, there was significant difference between the floral and reproductive structures of different morphs, featuring a polymorphism condition in style size to *S. melongena*. The observations found the presence of the bee genera *Bombus*, *Xylocopa*, *Apis*, *Trigona*, *Pseudaugochloropsis*, *Oxaea* and *Exomalopsis*. Concerning the behavior of each species, there has been a change both in relation to the form of collecting pollen on the flower in the length of stay. Concerning the reproductive system, it was noted formation of pollen tubes along the style and the same coming to ovule only in long style flowers, which may indicate a andromonoecious condition for the species under study. It is concluded for *S. melongena* that the action of pollinators is of great importance for its development, since even being self-compatible, the spontaneous self not proved to be sufficient for effective fertilization of their ovules. There are several species that play role of pollinators, but species with the vibration behavior contribute more effectively to the development of this culture.

**Key-words:** bees, floral polymorphism, buzz pollination

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	09
CAPÍTULO I. Biologia e morfologia floral de <i>Solanum melongena</i> (Solanaceae).....	
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1 Características gerais de <i>Solanum melongena</i> L. híbrido Nápoli.....	17
2.2 Área de Estudo.....	18
2.3 Morfometria Floral.....	19
2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	19
2.5 Biologia Floral.....	20
2.6 Sistema Reprodutivo.....	22
3. RESULTADOS.....	24
3.1 Morfometria Floral.....	24
3.2 Biologia Floral.....	28
3.3 Sistema Reprodutivo e Sexual.....	31
4. DISCUSSÃO.....	34
4.1 Morfometria Floral.....	34
4.2 Biologia Floral.....	37
4.2 Sistema Reprodutivo e Sexual.....	39
5. CONCLUSÃO.....	41
6. REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO II. Visitantes florais e eficácia de polinizadores em flores da berinjela ( <i>Solanum melongena</i> L.).....	
RESUMO.....	46
ABSTRACT.....	47
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	52
2.1 Áreas de Estudo.....	52
2.2 Amostragem dos visitantes florais.....	55
2.3 Eficácia dos polinizadores.....	56
3. RESULTADOS.....	58
3.1 Amostragem dos visitantes florais.....	58
3.2 Eficácia dos polinizadores.....	64

4. DISCUSSÃO.....	66
4.1 Amostragem dos visitantes florais.....	66
4.2 Eficácia dos polinizadores.....	70
5. CONCLUSÃO.....	73
6. REFERÊNCIAS.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS.....	80

## INTRODUÇÃO GERAL

O processo de polinização é um serviço ecossistêmico fundamental para o desenvolvimento de diversas culturas vegetais, contribuindo efetivamente para a reprodução de plantas superiores, bem como para a manutenção de ecossistemas, conservando grande parte das redes de interações entre animais e plantas (FREITAS; NUNES-SILVA, 2012). Buchmann, Jones e Colin (1977) indicam que a polinização também é essencial para o fornecimento da base da alimentação para humanos e animais, influenciando diretamente na quantidade e, especialmente, no aspecto qualitativo da produção de alimentos.

O serviço ecossistêmico prestado pelos polinizadores está sendo cada vez mais reconhecido no mundo todo e é considerado um tema de larga relevância, devido a um notável declínio de determinadas espécies de abelhas nas últimas décadas (IMPERATRIZ-FONSECA, 2010). Esse declínio suscitou o surgimento de uma série de iniciativas políticas, como a Iniciativa Internacional dos Polinizadores em meados do ano 2000, cujo objetivo principal é promover a conservação e o uso sustentável da diversidade de polinizadores na agricultura e ecossistemas relacionados, sendo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) a principal facilitadora de todo esse processo (IMPERATRIZ-FONSECA; SARAIVA; GONÇALVES, 2007).

A perda de espécies que realizam o serviço de polinização pode desencadear prejuízos e graves consequências para a manutenção da biodiversidade em geral, assim como para a produtividade de culturas agrícolas (KEVAN; PHILLIPS, 2001). Ainda quanto às culturas agrícolas, o declínio de polinizadores pode suscitar em altos valores econômicos e baixa disponibilidade das mesmas, indicando que esse acontecimento pode ter como consequência a geração de graves problemas para o abastecimento mundial de alimentos. Gallai et al. (2009), calcularam o valor monetário da polinização por insetos em culturas utilizadas na alimentação humana e obtiveram o valor anual de 153 bilhões de euros, o equivalente a 9,5% da produção agrícola mundial.

Wratten et al. (2012) apontam que a agricultura pode desempenhar um papel importante na conservação dos polinizadores, contribuindo para o

desenvolvimento de um manejo diferenciado das áreas de cultivo e de seus arredores, uma vez que paisagens pouco fragmentadas podem ser muito benéficas para as populações de abelhas e outros grupos de polinizadores. Segundo Freitas e Imperatriz-Fonseca (2005), são ausentes estudos compreensivos sobre o valor monetário da polinização em ambientes naturais e agrícolas no Brasil, especialmente sobre a contribuição dos polinizadores para o rendimento econômico de culturas agrícolas.

No que se refere às áreas cultivadas no mundo todo, aproximadamente 2/3 se encontra em países em desenvolvimento, os quais detêm culturas agrícolas 50% mais dependentes de polinizadores se comparadas com as de países desenvolvidos (AIZEN et al., 2009). Mesmo no caso de plantas cultivadas nas quais os polinizadores não são imprescindíveis, a polinização biótica pode contribuir de forma bastante expressiva, aumentando a quantidade e qualidade das colheitas, bem como o valor proteico, o teor de fibras e o número de sementes produzidas, além de proporcionar uma diminuição de custos para os produtores (D'ÁVILA; MARCHINI, 2005; FREITAS, 2010; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010).

Dessa forma, pode-se considerar a polinização como uma etapa decisiva no cultivo de muitas espécies vegetais, sendo essencial para a produção de um maior número de sementes, maior resposta de crescimento do ovário da flor e maior tamanho e fixação dos frutos. No Brasil, dentre as principais culturas agrícolas de elevada importância econômica e dependência de polinizadores para seu desenvolvimento, destacam-se as de abóbora, berinjela, café, canola, entre outras (D'ÁVILA; MARCHINI, 2005).

A berinjela (*Solanum melongena* L.) pertence à família Solanaceae, a qual engloba muitas outras culturas de importância econômica e alimentícia, como o tomate, o pimentão, a batata, a pimenta e o jiló (ANTONINI et al., 2002), possuindo cerca de 106 gêneros e 2300 espécies (STEHMANN et al., 2010). Estudos demonstram que a berinjela teve seu surgimento em regiões tropicais do Oriente, como a China e a Índia e que suas formas selvagens eram provavelmente de constituição espinhosa e sabor amargo, o que indica que as

primeiras seleções e cruzamentos foram dirigidos contra tais caracteres (NASCIMENTO; TORRES; LIMA. 2003).

Introduzida no Brasil pelos portugueses em meados do século XVI, a berinjela se encontra atualmente em fase de expansão em vários países, sendo cada vez mais consumida no mundo todo, fato este atribuído às frequentes divulgações de suas propriedades medicinais, principalmente contra aumento nos níveis de colesterol e pressão arterial (MONTEMOR; SOUZA, 2009; ANTONINI et al., 2002). Sua produção no Brasil é mais presente na região Sudeste, sendo São Paulo o maior estado produtor desta cultura e os pequenos produtores os principais agentes desse setor (ANEFALOS et al., 2008).

O gênero *Solanum* Tourn. ex. L. se destaca por abranger o maior número de espécies entre as Solanaceae, aproximadamente 1400, e também por ser um dos maiores entre as plantas com sementes, apresentando uma distribuição cosmopolita e, no Brasil, é representado por aproximadamente 256 espécies nativas, dentre as quais 125 são endêmicas (STEHMANN et al, 2010).

A planta da berinjela é perene, de porte arbustivo e pode atingir de 1 a 3 metros de altura (ANTONINI et al., 2002). As flores são perfeitas, de coloração lilás e podem ser solitárias ou distribuídas em inflorescências do tipo cimeira e o único recurso oferecido é o pólen. Mesmo sendo uma espécie autocompatível, a qualidade do fruto da berinjela e a quantidade de frutos produzidos pode aumentar significativamente na ocorrência da polinização biótica, especialmente se esta for efetuada por abelhas com comportamento vibratório (ABAK et al., 2000).

A partir desse contexto, o objetivo geral desse trabalho foi estudar a biologia da polinização de *Solanum melongena* (Solanaceae). Os objetivos específicos foram: 1) estudar a biologia floral e analisar a morfologia floral da espécie; 2) verificar a riqueza e o comportamento de seus visitantes florais; e 3) testar a eficácia de diferentes espécies de polinizadores na formação do fruto da berinjela.



## RESUMO

A biologia da polinização envolve todos os fatores ocorridos no processo de reprodução da planta, desde a antese floral até a formação de frutos e sementes. O gênero *Solanum* apresenta flores tipicamente bissexuadas, no entanto algumas espécies podem apresentar diferentes morfos florais, que por sua vez podem exercer influência no sucesso reprodutivo das mesmas. Nesse contexto, o objetivo geral deste capítulo foi estudar a biologia floral e reprodutiva de *Solanum melongena*. Os objetivos específicos foram: 1) analisar os diferentes morfos florais, quanto aos verticilos reprodutivos e vegetativos; e 2) determinar os sistemas reprodutivo e sexual de *S. melongena*. O estudo foi realizado em área de cultivo agrícola convencional localizada no município de Estiva Gerbi, São Paulo. Os dados de morfometria floral foram coletados com auxílio de paquímetro manual e de estereomicroscópio. As flores foram observadas quanto ao horário e período da antese. O número de grãos de pólen viáveis foi quantificado através da coloração citoplasmática, utilizando-se a técnica do carmim acético. Para determinar o sistema reprodutivo, verificou-se a formação de tubos polínicos em diferentes horários após a polinização manual ser efetuada. Através da análise morfométrica, constatou-se diferença significativa entre as corolas e os estiletos dos diferentes morfos, não diferindo entre si significativamente apenas as anteras, o que caracteriza uma condição de polimorfismo na altura do estilete. A partir da análise de crescimento dos tubos polínicos nos diferentes tratamentos, foi possível detectar que *Solanum melongena* é uma espécie xenógama facultativa. Conclui-se para *S. melongena* uma condição de polimorfismo na altura do estilete e andromonoiccia funcional. A ação dos polinizadores é de grande importância para o desenvolvimento da espécie, uma vez que, mesmo sendo autocompatível, a autopolinização espontânea não mostrou-se suficiente para uma efetiva fecundação de seus óvulos.

**Palavras-chave:** polimorfismo floral, andromonoiccia, berinjela.

## ABSTRACT

Pollination biology involves all factors in the plant reproduction process, from floral anthesis until the formation of fruits and seeds. The genus *Solanum* has typically bisexual flowers, but some species may have different floral morphs, which in turn can influence the reproductive success of the same. In this context, the objective of this chapter was to study the floral and reproductive biology of *Solanum melongena*. The specific objectives were: 1) to analyze the different floral morphs; and 2) determine the reproductive and sexual systems of *S. melongena*. The study was conducted in conventional agricultural crop area in the municipality of Estiva Gerbi/SP. Data floral morphometry were collected with the help of manual caliper. The flowers were observed as to the time and period of anthesis. The number of viable pollen grains was quantified by cytoplasmic staining, using the technique of acetic carmine. To determine the reproductive system, was analyzed the formation of pollen tubes at different times after pollination be held. Through the morphometric analysis, there was significant difference between the corolla and styles different morphs did not differ significantly from each other only the anthers, which features a polymorphism condition at the size of the styles. From the analysis of the growth of pollen tubes in different treatments, it was possible to detect that *S. melongena* is an optional xenogamous species. It is concluded for one polymorphism *S. melongena* condition at the time of the stylet and functional andromonoiccia. The action of pollinators is very important the development of the species, since, even being self-compatible, the spontaneous self not proved to be sufficient for effective fertilization of their ovules.

**Key-words:** floral polymorphism, andromonoiccia, eggplant

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de polinização consiste na transferência de grãos de pólen presentes nas anteras para o estigma da flor e seu sucesso resultará na fecundação dos óvulos e posterior formação de frutos e sementes (WILLMER, 2011). A ocorrência da mediação efetuada por um agente polinizador pode favorecer a polinização cruzada, mecanismo que possibilita às plantas um aumento da variabilidade genética de seus descendentes. Os estudos em biologia da polinização envolvem todos os fatores ocorridos no processo de reprodução da planta, desde a antese floral até a formação de frutos e sementes (FAEGRI; VAN DER PIJL, 1980).

Grande parte das angiospermas apresenta flores bissexuadas, onde ocorre a presença de carpelos e estames em uma única flor, característica que proporciona uma otimização das visitas dos polinizadores, que podem coletar e depositar o pólen em uma única parada (RAVEN, EVERT; EICHHORN, 2007). Entretanto, essa característica pode também facilitar a ocorrência do processo de autogamia. Embora a autogamia apresente determinadas vantagens reprodutivas, como a manutenção de caracteres importantes para a sobrevivência da espécie, também contribui para a diminuição da variabilidade genética (BORGES, 2000).

Dessa forma, algumas estratégias reprodutivas são apresentadas pelas plantas como mecanismos para a redução da autofecundação e, conseqüentemente da autogamia. A apresentação de algumas características específicas, como a hercogamia e a autoincompatibilidade, podem otimizar a reprodução cruzada e conseqüentemente aumentar a taxa de variabilidade genética (BARRET; JESSON; BAKER, 2000).

A ocorrência de diferentes morfos florais em uma mesma espécie é entendida como uma estratégia reprodutiva para evitar a autogamia, como ocorre em espécies heterostílicas, nas quais podem existir dois ou três morfos florais distintos apresentando uma hercogamia recíproca entre eles, ou seja, essa característica impede a ocorrência de cruzamentos intra-morfos e conseqüente autopolinização da espécie portadora dessa condição (BARRET, 1990).

O gênero *Solanum* apresenta flores tipicamente bissexuadas, no entanto algumas espécies podem apresentar diferentes morfos florais, apresentando espécies monoicas e algumas variações como andromonoicia e até diocia, que conferem ao indivíduo flores com morfologias semelhantes e funções distintas (FORNI-MARTINS; MARQUES; LEME, 1998). As flores de *Solanum melongena* apresentam um polimorfismo floral caracterizado por uma diferença gradativa no tamanho do estilete, que pode se apresentar abaixo, no mesmo nível (condição rara) ou acima do nível das anteras, uma condição ainda pouco estudada e com função que permanece enigmática para estudiosos da área (BARRET et al, 2000).

As flores de *S. melongena* também apresentam anteras com deiscência poricida, onde o pólen é liberado através de poros apicais, característica que exige um comportamento de vibração de seus polinizadores (BUCHMANN; JONES; COLIN, 1977). Ainda que uma gama de espécies de plantas, pertencentes a distintas famílias – Myrtaceae, Cistaceae, Papaveraceae – e com morfologias florais variadas revelem que a polinização vibrátil não está associada a um único tipo de morfologia floral, o gênero *Solanum* se destaca nesse aspecto (DE LUCA; VALLEJO-MARÍN, 2013).

Segundo De Luca e Vallejo-Marín (2013), flores de solanáceas, também denominadas flores de pólen, dispõem de muitas características específicas para a polinização vibrátil, tais como: antese diurna; estames coloridos e vistosos; a liberação do pólen através de pequenos poros apicais nas anteras; a falta de néctar ou outro recurso para atrair polinizadores; grão de pólen seco e com paredes lisas; grande produção de pólen e áreas que concentram e emitem odor específico.

Assim, o objetivo geral deste capítulo foi estudar a biologia floral e reprodutiva de *S. melongena*. Os objetivos específicos foram: 1) analisar os diferentes morfos florais, quanto aos verticilos reprodutivos e vegetativos; e 2) determinar os sistemas reprodutivo e sexual de *S. melongena*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

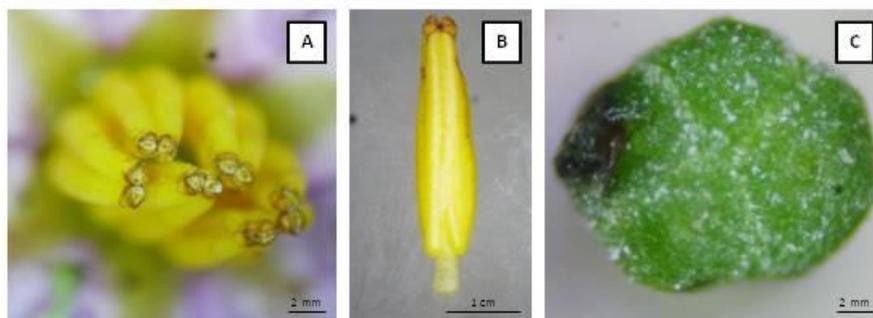
### 2.1 Características gerais de *Solanum melongena* L. híbrido Nápoli

A planta da berinjela possui porte arbustivo, com caule do tipo semi-lenhoso e ereto, atingindo de 1 a 3 metros de altura. É uma planta perene que pode se comportar como anual, uma vez que a morte dos indivíduos ainda no primeiro ano pode ser frequente, devido a determinadas doenças (ANTONINI et al., 2002).

As flores são perfeitas, pentâmeras e bissexuais, podendo ser solitárias ou distribuídas em inflorescências do tipo cimeira e o único recurso floral oferecido por elas é o pólen, coletado geralmente por abelhas fêmeas que utilizam esse recurso na alimentação das larvas. Vogel (1978) aponta que a procura desses animais por flores que oferecem pólen como recurso, proporcionou ao longo da evolução das flores, o surgimento das flores de pólen, as quais não secretam qualquer outro tipo de recurso floral, como por exemplo o néctar.

O cálice é dialissépalo, com 5 a 7 sépalas. A corola é actinomorfa, gamopétala, pilosa na porção inferior, com cinco ou seis pétalas de coloração lilás, que se fundem na base formando um tubo. Os 5 a 6 estames são livres, eretos e de coloração amarelada viva, medindo em média de 1 a 1,2 cm e se abrem em dois poros apicais (Figura 1A), formando um cone que envolve o estilete. O pólen é seco e de coloração esbranquiçada (Figura 1B). O estigma é do tipo capitado e de coloração esverdeada (Figura 1C), se localizando distante dos poros da antera, tanto em flores brevistilas como em longistilas e o ovário pode apresentar três ou quatro lóculos. Os frutos são do tipo baga, geralmente de formato oblongo, brilhantes e de coloração variada, sendo a de coloração roxo-escuro e pedúnculo verde a mais comum no Brasil (RIBEIRO; BRUNE; REIFCHNEIDER, 1998).

**Figura 1.** Verticilos reprodutivos de *Solanum melongena* híbrido Nápoli. (A) poros apicais das anteras poricidas; (B) corte longitudinal em antera poricida; (C) estigma com deposição de grãos de pólen.



A utilização de híbridos por produtores olerícolas tem sido motivada nas últimas décadas especialmente porque o mercado consumidor brasileiro está se tornando cada vez mais exigente no que se refere à qualidade e ao preço do produto. Dessa maneira, híbridos e cultivares de alta produtividade, uniformidade e qualidade de frutos, bem como tolerantes à pragas e doenças, dominam o mercado brasileiro na atualidade. No caso da berinjela, o híbrido Nápoli é o mais cultivado e comercializado, apresentando plantas muito vigorosas, frutos alongados, coloração vinho escura brilhante e lenta formação de sementes (ANTONINI et al., 2002).

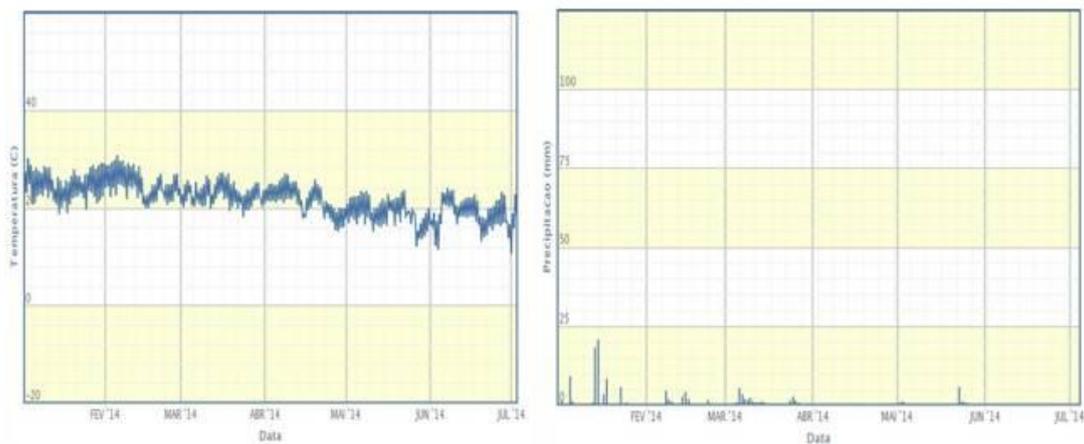
## 2.2 Área de Estudo

O estudo foi realizado em área de cultivo agrícola convencional, em uma propriedade agrícola de exploração comercial de berinjela, localizada no município de Estiva Gerbi (22°16'20.73"S, 46°56'46.17"O), região leste do estado de São Paulo (Figura 2). O plantio de berinjela estava instalado na Fazenda Cercado Grande (área total de 7.370 ha) com cerca de 23.000 pés no total, perfazendo uma área de aproximadamente 4,5 ha.

Estiva Gerbi possui clima tropical com estação seca de inverno (Aw) e as temperaturas médias no período de verão são em torno de 24°C e mínimas próximas de 16°C, tendo dessa maneira, seus maiores índices de chuva nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, totalizando anualmente uma precipitação média em torno de 1300 mm (SETZER, 1976). As variáveis climáticas - temperatura e

pluviosidade - durante o período de estudo (Figura 2) foram verificadas com auxílio de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014).

**Figura 2.** Temperaturas e precipitações médias mensais entre o período de fevereiro e julho de 2014 para a região de Estiva Gerbi/SP. Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)



### 2.3 Morfometria Floral

Os dados de morfometria floral foram coletados com auxílio de paquímetro manual e de estereomicroscópio. Por se tratar de uma espécie com flores actinomorfas, foram tomadas apenas as medidas do comprimento total da corola, assim como da altura do estilete e das anteras de flores brevistilas (n=30) e longistilas (n=30), que ocorrem juntamente em um mesmo indivíduo.

As diferenças entre as medidas nos dois morfos florais foram testadas através do teste t ao nível de significância de 0,05. Utilizou-se o software Statistica Six

### 2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a análise de estruturas florais dos distintos morfos de *S. melongena*, foram utilizadas flores fixadas em FAA (5% de formalina, 5% de ácido acético e 90% de álcool etílico a 50%), desidratadas em série de álcool (10%, 30%, 50% e 70% estoque) e acetona (90% e 100%). As amostras foram submetidas ao ponto crítico para retirada de toda água estrutural, utilizando-se o equipamento Balzers Critical Point Dryer 030. Posteriormente, foram recobertas com ouro pelo

método de “Sputtering”, com o equipamento Balzers Sputter Coater 050. As micrografias foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura Hitachi TableTop Microscope TM3000, operando a 15 kV.

## 2.5 Biologia floral

As flores de *Solanum melongena* foram observadas quanto ao horário e período da antese. Para tanto, flores brevestilas (n=5) e longistilas (n=5) em pré-antese foram ensacadas e observadas até a senescência. Ao longo da antese observou-se a coloração das flores, desde a abertura até a senescência, a duração da flor receptiva e doadora de pólen viável, a receptividade do estigma e a presença de osmóforos.

O número de grãos de pólen viáveis foi quantificado através da coloração citoplasmática, utilizando-se a técnica do carmim acético (RADFORD et al., 1974). Para esta análise, foram retirados os grãos de pólen das anteras com auxílio do microscópio estereoscópico e logo em seguida os mesmos foram corados com o carmim acético, onde o pólen foi polvilhado sobre uma lâmina com o corante. A contagem dos grãos de pólen se deu através do microscópio de luz, onde foram considerados viáveis aqueles que apresentaram coloração do citoplasma. Para se obter uma amostragem ao acaso dos grãos de pólen corados, foi utilizado o método de varredura, sendo contabilizados 100 grãos de pólen/lâmina.

A viabilidade do grão de pólen foi verificada em diferentes fases da antese - desde a pré-antese até a senescência da flor, representadas por cinco estágios florais (Figuras 3 e 4). Ao longo da antese foram definidos os estágios florais nos dois morfos, de acordo com o tempo ocorrido após a mesma. Dessa maneira, o primeiro estágio foi definido como correspondente ao período de pré-antese (botão); o segundo estágio ao período em que ocorre a antese floral; o terceiro estágio de 24 a 36 horas após a antese; o quarto estágio após 36 horas do momento da antese; e o quinto estágio após aproximadamente 72 horas do momento da antese.

Para se estimar a viabilidade polínica, foram coletadas anteras de flores (n=5) de cada um dos diferentes estágios florais e com diferentes tamanhos de estilete, sendo avaliadas separadamente, uma vez que a espécie em estudo apresenta o fenômeno de polimorfismo floral. O último estágio não foi utilizado nesta análise devido ao número muito pequeno de grãos de pólen presentes na antera. Portanto, foram utilizadas nesta análise flores brevestilas (n=20) e flores longistilas (n=20). A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. O teste estatístico não paramétrico Kruskal Wallis foi utilizado para analisar as diferenças entre os estágios de desenvolvimento da flor e estes dados foram comparados pelo teste de Dunn, através do software Action 2.7.

**Figura 3.** Estágios de desenvolvimento em flores brevestilas de *Solanum melongena* híbrido Nápoli. Barra = 3 cm.



**Figura 4.** Estágios de desenvolvimento em flores longistilas de *Solanum melongena* híbrido Nápoli. Barra = 3 cm.



A estimativa da produção de pólen se deu através da contagem do número de grãos de pólen produzidos por antera. Para isso, flores em pré-antese e em

antese foram coletadas em intervalos de 3 horas, em um período total de 12 horas (das 6h às 18h). Em cada intervalo, coletou-se cinco flores, totalizando ao final do período 20 flores. As anteras foram analisadas ainda frescas, no mesmo dia da coleta, a partir da montagem de lâminas e posterior contagem dos grãos de pólen em microscópio de luz. Para averiguar a relação entre a frequência dos polinizadores (CAPÍTULO II) e a disponibilidade de pólen, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r).

A receptividade do estigma foi analisada através do teste de peroxidase, utilizando peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). A indicação do estigma receptivo se deu através da liberação de bolhas de  $O_2$  no mesmo, o que foi observado com auxílio de uma lupa de campo (KEARNS,1993). Esse teste foi aplicado em flores brevistilas (n=10) e longistilas (n=10) com diferentes estágios de desenvolvimento (desde a pré-antese até a senescência da flor).

Foi avaliada também a presença de osmóforos nas flores. Para tanto, aplicou-se o teste do vermelho neutro (DAFNI, 1992), onde flores frescas coletadas aleatoriamente (n=10) foram submersas em solução do corante utilizado durante 60 minutos e, logo após esse procedimento, lavadas em água destilada e observadas sob estereoscópio. As regiões florais coradas em vermelho intenso apontaram a presença de osmóforos.

## **2.6 Sistema Reprodutivo**

Seguindo os métodos estabelecidos por Radford et al. (1974) foram realizados os testes de polinização manual com diferentes tratamentos, utilizando-se no total 54 flores, divididas entre os mesmos. Dessa forma, os seguintes tratamentos foram realizados:

- a-** autopolinização espontânea (autogamia): flores ensacadas e sem tratamento posterior (n=12, sendo 6 flores brevistilas e 6 flores longistilas);
- b-** autopolinização manual (autogamia): grãos de pólen depositados no estigma da própria flor (n=12, sendo 6 flores brevistilas e 6 flores longistilas);

- c- polinização cruzada manual (xenogamia): grãos de pólen provenientes de flores de indivíduos diferentes e transferidos para estigmas de flores previamente emasculadas (n=18, sendo 9 flores brevistilas e 9 flores longistilas);
- d- polinização em condições naturais (controle): flores após serem visitadas foram ensacadas (n=12, sendo 6 flores brevistilas e 6 flores longistilas).

Para determinar o sistema reprodutivo, verificou-se a formação de tubos polínicos em diferentes horários após a polinização manual ser efetuada. Para tanto, botões florais de *S. melongena* foram ensacados e para o tratamento de polinização cruzada as flores foram emasculadas. Para a realização do tratamento de polinização cruzada, o critério adotado foi o de utilizar indivíduos distanciados minimamente 2 metros entre si. Testou-se a fertilidade de flores com estilete longo (longistilas) e com estilete curto (brevistilas), que foram utilizadas como doadoras e receptoras de pólen. O pólen foi retirado das anteras com auxílio de uma pinça, realizando-se a abertura das mesmas através do rompimento do conectivo contra uma lâmina histológica. Posteriormente, colocou-se a lâmina contendo o pólen em contato com o estigma.

Após a polinização manual, as flores foram novamente encobertas com os sacos de tule, para o impedimento de possíveis contatos com visitantes florais. Também foi testada a ocorrência de polinização em condições naturais (tratamento controle), no qual os botões florais foram igualmente envolvidos por sacos de tule, porém as flores não foram polinizadas manualmente, sendo expostas para visitas dos polinizadores.

As doze flores utilizadas nos distintos tratamentos A, B e D, bem como as dezoito flores utilizadas no tratamento C, foram coletadas nos intervalos de 12, 24, e 48h (quatro em cada horário nos tratamentos A, B e D, sendo duas flores brevistilas e duas flores longistilas e seis em cada horário no tratamento C, sendo duas provenientes do cruzamento entre flores brevistilas com flores brevistilas, duas provenientes do cruzamento entre flores longistilas com flores longistilas e duas provenientes do cruzamento entre flores brevistilas com flores longistilas)

após as polinizações e fixadas em FAA para verificar o crescimento de tubos polínicos (RADFORD et al., 1974).

A análise do crescimento dos tubos polínicos em cada tratamento foi realizada no Laboratório de Biossistemática e Polinização – Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Os pistilos já fixados em FAA foram levados para o laboratório, onde foram lavados em água destilada, seguido de hidróxido de sódio (NaOH), no qual permaneceram por 60 minutos em estufa à 60°C para amaciar os tecidos.

Lavou-se novamente os pistilos em água destilada e posteriormente os mesmos foram lavados em hipoclorito de sódio durante 3 minutos, voltando para a água destilada após esse período. Após esse procedimento, retirou-se alguns tecidos que envolvem o ovário com auxílio de um microscópio, para melhor visualização dos óvulos e então macerou-se o pistilo em uma lâmina com gotas do corante azul de anilina. Para visualizá-los, utilizou-se a técnica de microscopia de fluorescência (adaptado de MARTIN, 1959).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Morfometria floral

Através da análise morfométrica, constatou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as corolas ( $p=0,01$ ) e os estiletos ( $p= 0,01$ ) dos diferentes morfos, não diferindo entre si significativamente apenas as anteras ( $p= 0,48$ ), que apresentaram tamanhos semelhantes tanto no morfo brevistilo como no morfo longistilo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Morfometria floral de *Solanum melongena* L. para corola, antera e estilete (cm) de flores brevistilas (B) e longistilas (L) (média  $\pm$  desvio padrão).

Morfo floral	Corola	Antera	Estilete
B (n=30)	3,24 $\pm$ 0,19	0,87 $\pm$ 0,06	0,27 $\pm$ 0,06
L (n=30)	4,67 $\pm$ 0,19	0,92 $\pm$ 0,06	1,09 $\pm$ 0,07

Assim, pode-se definir dois morfos florais para *S. melongena* a partir do comprimento do estilete: brevistilo – flores com estilete curto; e longistilo – flores com estilete longo, que exterioriza-se além das anteras (Figura 5). As corolas dos diferentes morfos também apresentam distintas dimensões, grandes em morfos longistilos e pequenas em morfos brevistilos ( $p < 0,05$ ).

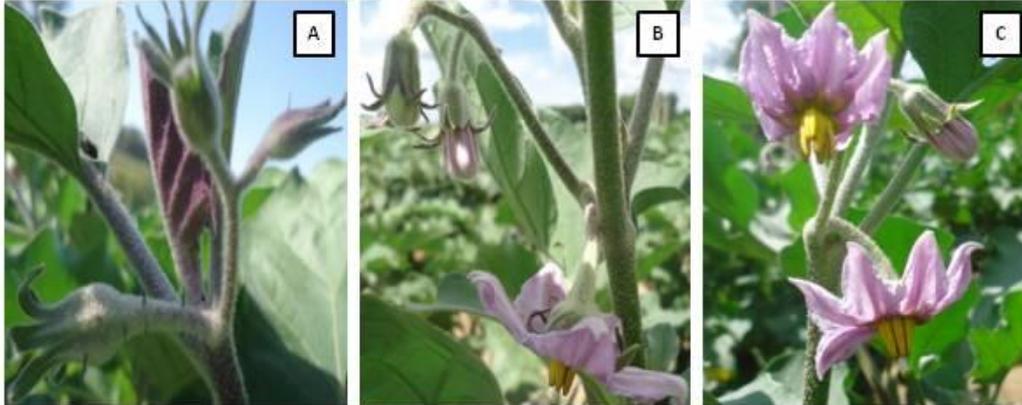
**Figura 5.** Diferentes morfos florais de *Solanum melongena* L. (A) morfo floral longistilo – estilete acima do nível das anteras; (B) morfo floral brevistilo – estilete abaixo do nível das anteras.



A produção de botões em *S. melongena* teve início em janeiro e perdurou durante todo o ano, uma vez que a espécie se caracteriza por ser anual ou perene. As primeiras flores se encontravam abertas no início de fevereiro e nos meses mais frios (julho e agosto) houve uma queda no número de botões. Os dois morfos florais ocorrem no mesmo indivíduo, porém em diferentes proporções durante o período de vida da planta.

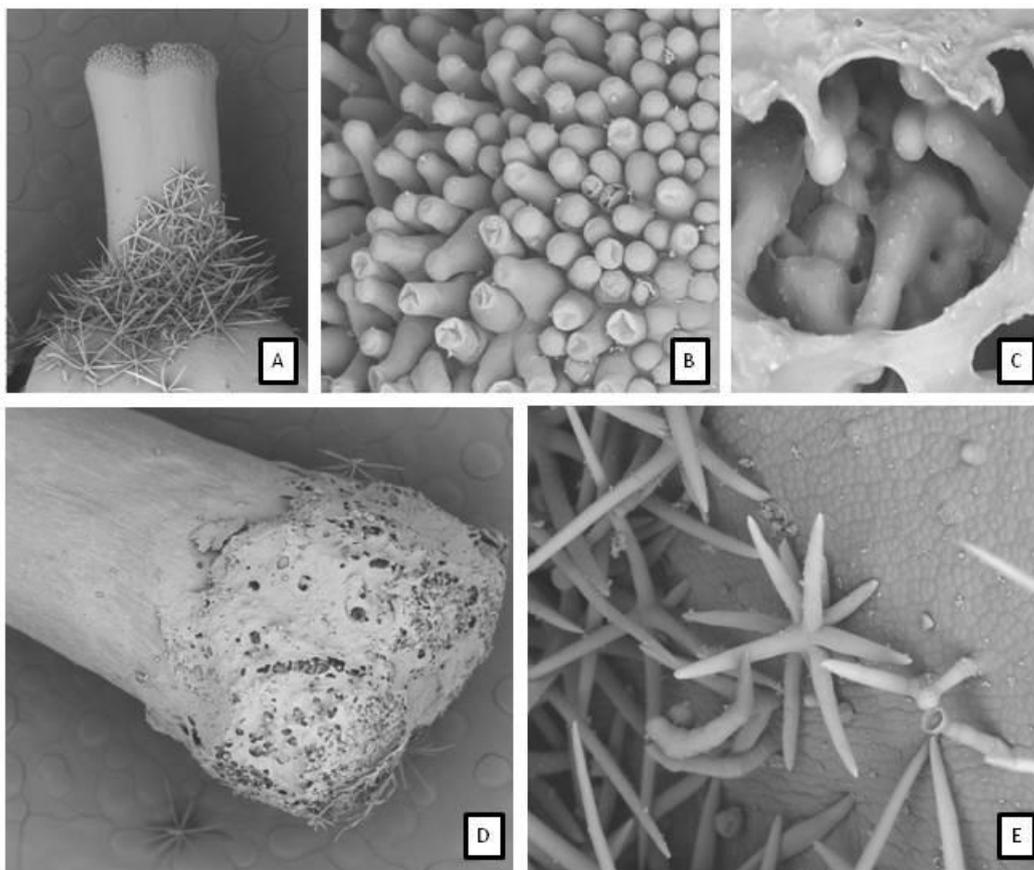
Quanto à proporção da distribuição das flores de diferentes morfos nas inflorescências, notou-se que nos três meses iniciais de floração, aproximadamente durante 3 meses, há uma maior quantidade de flores brevistilas sendo produzidas pela planta, em uma proporção aproximada de 2:1, ocorrendo o padrão de duas flores brevistilas para uma flor longistila (Figura 6) e após esse período, essa proporção tende a diminuir, de forma a se tornar 1:1.

**Figura 6.** Distribuição dos morfos florais em *Solanum melongena* L. (A) botões florais em desenvolvimento – um botão floral longistilo na porção inferior e dois botões florais brevistilos na porção superior; (B) uma flor longistila na porção inferior e dois botões florais brevistilos na porção superior; (C) flores em antese – uma flor longistila na porção inferior e uma flor e um botão brevistilo na porção superior.



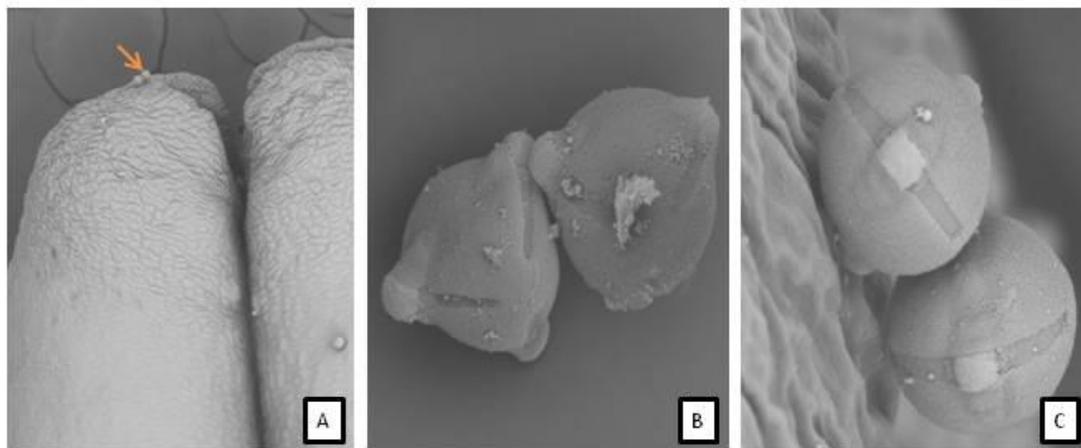
Através da microscopia eletrônica de varredura realizada com os dois morfos florais, detectou-se diferença expressiva entre ambos, especialmente quanto às papilas estigmáticas (Figura 7 – B,C,D), que no morfo brevistilo se apresentam de forma murcha e seca e no morfo longistilo apresentam extensa mucilagem recobrando grande parte das papilas. Também notou-se a presença de uma grande quantidade de tricomas na base do estilete em ambos os morfos (Figura 7 – A,E).

**Figura 7.** Estilete e estigma dos diferentes morfos florais de *Solanum melongena*. (A) pistilo - morfo brevistilo (60x); (B) papilas estigmáticas – morfo brevistilo (800x); (C) papilas estigmáticas – morfo longistilo (1.0kx); (D) estigma – morfo longistilo (50x); (E) tricomas na base de estilete brevistilo (400x).



Referente às anteras e grãos de pólen, não foi detectada diferença quanto ao tamanho e estrutura entre ambos os morfos florais (Figura 8). Observou-se que a antera possui deiscência poricida, isto é, os grãos de pólen a deixam através de um pequeno poro em seu ápice (Figura 8 – A) e não houve diferença no tamanho dos grãos de pólen provenientes de flor brevistila (Figura 8 – B) e longistila (Figura 8 – C).

**Figura 8.** Antera e grãos de pólen de *Solanum melongena*. (A) detalhe do poro da antera (180x) – seta indicando a presença de grãos de pólen próximos à abertura; (B) grão de pólen de antera brevistila (3.0kx); (C) grão de pólen de antera longistila (3.0kx).



### 3.2 Biologia floral

*Solanum melongena* apresenta inflorescências expostas e dez a quinze flores abertas por indivíduo, de forma que há uma facilitação ao acesso dos polinizadores a elas. A antese das flores ocorre no período da manhã, preferencialmente entre 6h e 8h, porém é possível observar algumas flores em processo de abertura no decorrer da tarde. A senescência se dá aproximadamente três dias após a antese.

No momento de abertura, a corola se encontra com os lobos posicionados de forma perpendicular, exibindo as estruturas reprodutivas (androceu e gineceu no caso de flores longistilas e somente androceu no caso de flores brevistilas) e os poros das anteras estão abertos. Já nas primeiras horas de antese, os grãos de pólen se encontram secos e pulverulentos dentro das anteras, o que possibilita sua liberação através dos poros. O estigma também encontra-se receptivo nesse período, permanecendo de tal forma até a queda da corola. Notou-se também marcas necrófitas nas anteras de flores de ambos os morfos em estágios variados, resultado da manipulação das mesmas pelas abelhas (Figura 9).

**Figura 9.** Anteras com marcas necrófitas em flores longistilas de *S. melongena* híbrido Nápoli. (A) marcas necrófitas no ápice da antera; (B) marcas necrófitas na porção mediana da antera.



A coloração da corola no momento da antese é lilás escuro, contrastando com as colorações amarela e verde claro das anteras e do estigma, respectivamente. No decorrer da antese, essas colorações vão se modificando, de forma que a corola se torna lilás claro, as anteras perdem o amarelo vivo e o estigma adquire uma coloração marrom.

As flores que não são polinizadas ou fecundadas atrofiam e caem, enquanto as que são fecundadas sofrem um intumescimento no ovário após aproximadamente uma semana, momento em que ocorre também a queda da corola. A maturação e a deiscência do fruto ocorrem após 30-50 dias.

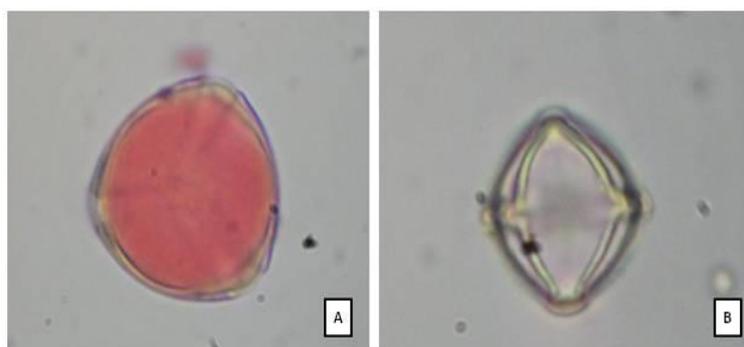
Através do teste do vermelho neutro, detectou-se a presença de osmóforos na flor ao longo de todo o período da antese, estando presentes especialmente nas extremidades da corola e no ápice das anteras (Figura 10).

**Figura 10.** Presença de osmóforos em flores de *Solanum melongena*. (A) flor em condições naturais; (B) partes da flor com pigmentação avermelhada indicando a presença de osmóforos na corola e nas anteras.



Utilizando-se a técnica de coloração citoplasmática, que fornece uma estimativa da quantidade de grãos de pólen viáveis e não viáveis (Figura 11), constatou-se que a porcentagem média de viabilidade do pólen foi de aproximadamente 72%, apresentando variações entre os estágios ( $p < 0,05$ ).

**Figura 11.** Análise de viabilidade polínica através da técnica de coloração citoplasmática (teste do carmin acético). (A) grão de pólen viável (com citoplasma corado) e (B) grão de pólen não viável (com o citoplasma sem coloração), em aumento de 400X.



Constatou-se que tanto no morfo brevistilo ( $p = 0,0021$ ) quanto no longistilo ( $p = 0,0093$ ) a viabilidade polínica é dependente do estágio floral, ou seja, nos primeiros estágios florais – que correspondem aos primeiros momentos da antese – há uma maior quantidade de pólen viável, se comparado com o estágio mais próximo do momento da senescência da flor, havendo uma diferença significativa entre tais estágios (Tabelas 2 e 3). Por outro lado, foi identificado através da análise de viabilidade que os grãos de pólen oriundos das anteras dos dois morfos florais podem ser usados para fins reprodutivos.

**Tabela 2.** Viabilidade polínica de *Solanum melongena* L. nos diferentes estágios florais em flores brevestilas (média  $\pm$  desvio padrão)

<b>Estágio Floral</b>	<b>Viabilidade dos grãos de pólen (%)</b>
1	78,6 $\pm$ 9,7 a
2	89 $\pm$ 20,1 a
3	60,4 $\pm$ 8,5 a
4	47,6 $\pm$ 21,3 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a  $p < 0,05$

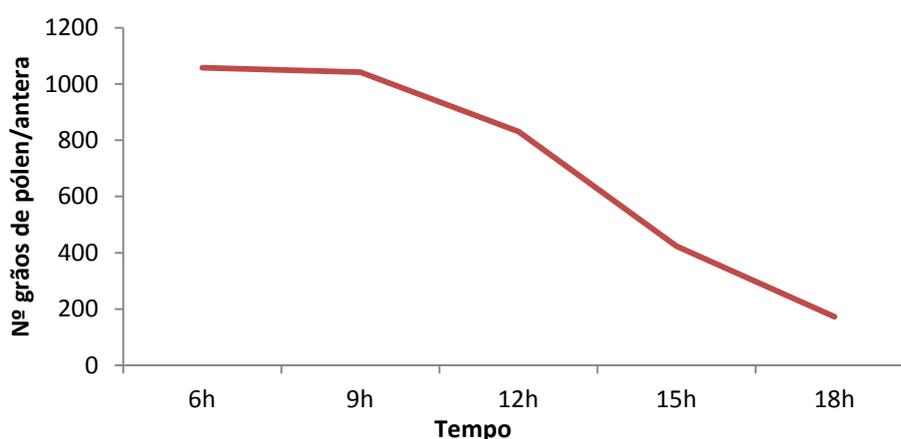
**Tabela 3.** Viabilidade polínica de *Solanum melongena* L. nos diferentes estágios florais em flores longistilas (média  $\pm$  desvio padrão)

Estágio Floral	Viabilidade dos grãos de pólen (%)
1	90,4 $\pm$ 15,7 a
2	88,4 $\pm$ 13,7 a
3	73,8 $\pm$ 0,9 a
4	46,2 $\pm$ 28,5 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a  $p < 0,05$

A contagem de grãos de pólen nos diferentes horários do dia indicou a existência de uma forte correlação positiva ( $r=0,74$ ) entre os horários de maior quantidade de pólen e os horários de maior visitação dos polinizadores. Após a abertura da flor, há uma grande liberação e consumo dos gr os de pólen pela a o dos polinizadores logo nas primeiras 6 horas de antese e, após aproximadamente 9 horas, a disponibilidade de pólen diminui cerca de 50% (Figura 12). Entretanto, ainda observa-se abelhas visitando as flores após esse período e também no dia posterior   antese, quando a quantidade de recurso   escassa.

**Figura 12.** Disponibilidade de pólen ao longo do dia em flores de *Solanum melongena* L. expostas   livre visitação.



### 3.3 Sistema Reprodutivo e Sexual

De maneira geral, para flores longistilas o crescimento dos tubos polínicos se iniciou após 12 horas das polinizações. No tratamento de autopolinização

manual, observou-se grãos de pólen germinando no estigma após um período de 12 horas, entretanto o crescimento dos tubos polínicos limitou-se à porção média do estilete, não alcançando os óvulos e, após 24 horas da polinização, não foi observado tubos alcançando os óvulos (Figura 13-A). O tratamento de autopolinização espontânea resultou em formação de um número reduzido de tubos polínicos, que alcançaram somente a porção mediana do estilete em flores longistilas após 12 horas da polinização, alcançando cerca de um quarto da totalidade de óvulos após 48 horas. Em flores brevistilas não houve formação de tubos (Figura 14).

No tratamento de polinização cruzada manual, os resultados obtidos através dos cruzamentos intra-morfos demonstraram um maior número de grãos de pólen germinando no estigma e maior formação de tubos ao longo de todo o estilete após 12 horas da polinização se comparado com os tratamentos anteriores. Também notou-se uma maior quantidade de tubos alcançando os óvulos após 24 horas da polinização, indicando a fecundação dos mesmos (Figura 13 – B).

Nos cruzamentos inter-morfos, ou seja, onde os grãos de pólen oriundos de flores brevistilas foram depositados em estigmas de flores longistilas, houve alta formação de tubos ao longo de todo o estilete após 12 horas da polinização (Figura 13 – D) e os mesmos alcançaram grande parte dos óvulos após 24 horas da polinização (Figura 13 – C). Após 48 horas desse tratamento, visualizou-se uma quantidade reduzida de óvulos sem tubos polínicos penetrando a micrópila, o que indica que grande parte deles foi fecundado. Em flores brevistilas não foi observado formação de tubos (Figura 14).

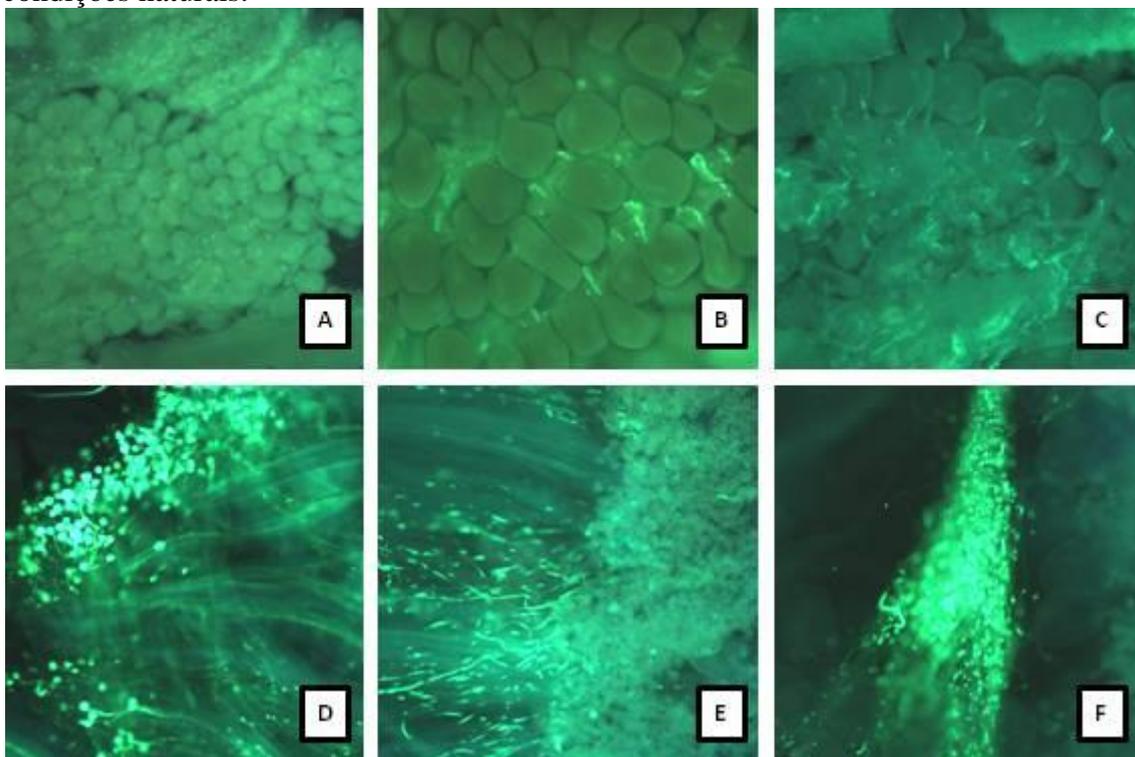
Ao serem expostas a condições naturais de campo, isto é, com livre visitação dos polinizadores, as flores longistilas apresentaram, após 48 horas do tratamento, uma grande quantidade de pólen depositado e germinando no estigma, assim como de tubos polínicos formados ao longo do estilete (Figura 13 – E,F), os quais fecundaram aproximadamente a totalidade de seus óvulos.

Dessa forma, foi possível detectar que *S. melongena* é uma espécie autocompatível, porém há a ocorrência de um desenvolvimento maior de tubos se

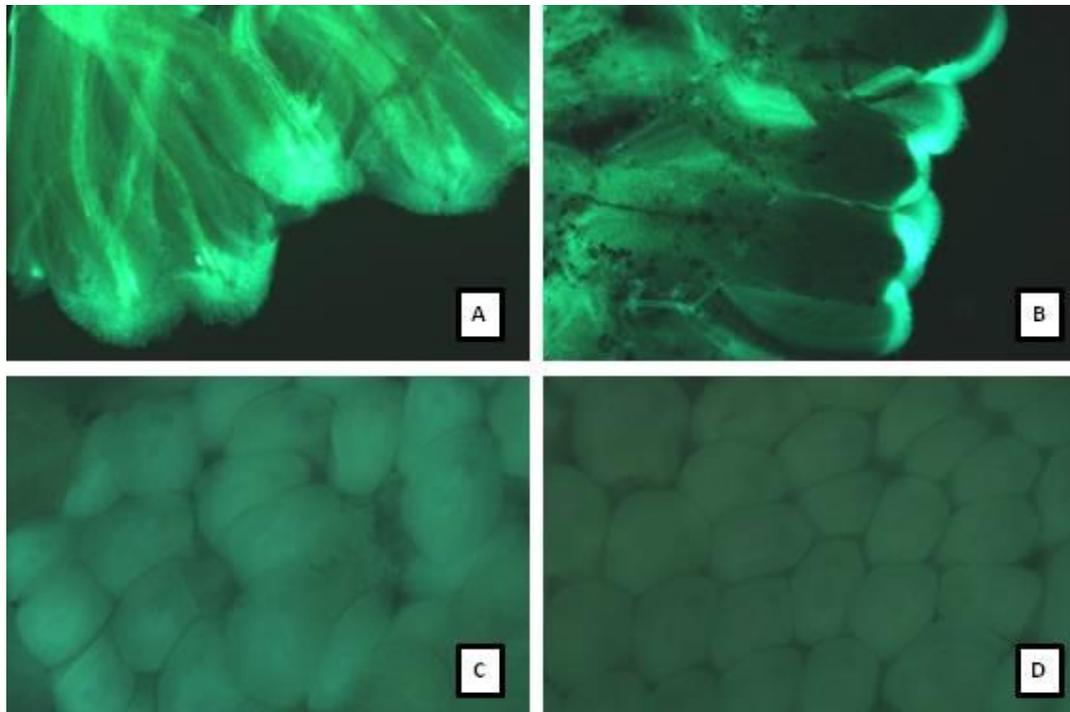
houver a polinização cruzada, o que a classifica como uma espécie xenógama facultativa. Os resultados sugerem também que a fertilização em *S. melongena* ocorre aproximadamente um dia após a polinização.

Quanto aos diferentes morfos florais, notou-se formação de tubos polínicos ao longo do estilete e os mesmos chegando aos óvulos apenas em flores longistilas e um maior número de óvulos fecundados especialmente com pólen oriundo de flores brevistilas nas mesmas. Não foi possível quantificar o número de tubos polínicos formados ao longo do estilete, bem como os que alcançaram os óvulos, devido à dificuldade em isolá-los, pois muitas vezes os mesmos formavam feixes (Figura 13-F).

**Figura 13.** Análise do crescimento dos tubos polínicos em diferentes tratamentos – flores longistilas. (A) óvulos após 24 horas do tratamento de autopolinização manual; (B) óvulos após 24 horas do tratamento de polinização cruzada – flor longistila X flor longistila; (C) óvulos após 24 horas do tratamento de polinização cruzada – flor longistila X flor brevistila; (D) estigma com tubos polínicos formados após 12 horas do tratamento de polinização cruzada – flor longistila X flor brevistila; (E) estigma com tubos polínicos formados após 48 horas do tratamento de polinização em condições naturais; (F) feixe de tubos polínicos após 48 horas do tratamento de polinização em condições naturais.



**Figura 14.** Análise do crescimento dos tubos polínicos em diferentes tratamentos – flores brevistilas. (A) superfície estigmática após 48 horas do tratamento de autopolinização espontânea; (B) superfície estigmática após 24 horas do tratamento de polinização em condições naturais; (C) óvulos após 12 horas do tratamento de autopolinização manual; (D) óvulos após 12 horas do tratamento de polinização cruzada – flor brevistila X flor brevistila.



## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Morfometria Floral

A espécie estudada já foi classificada como uma espécie heterostílica por alguns autores (NUNES-SILVA; HRNCIR; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010; NUNES-SILVA, 2011; KOWALSKA, 2008; TATIS, AYALA E CAMACHO, 2009), porém diversas características de sua morfologia floral e de seu sistema sexual não condizem com as características que norteiam o conceito de heterostilia, a saber: hercogamia recíproca, onde os morfos florais diferem reciprocamente nas alturas em que estilete e anteras estão posicionados nas flores; autoincompatibilidade intra-morfo; diferença na quantidade e na morfologia dos grãos de pólen produzidos por cada morfo; entre outras (BARRET, 1990).

Essa falta de padronização nos conceitos que definem as características morfológicas de *S. melongena* pode ocorrer devido à existência de diversos

híbridos e cultivares da espécie. Tatis, Ayala e Camacho (2009) analisando a morfologia floral de dois cultivares da berinjela - Long Purple e Criollo Lila, encontraram grandes diferenças entre eles, sendo que o primeiro apresentou flores tipicamente distílicas e o segundo flores tipicamente tristílicas, ambos com antera e estilete diferindo reciprocamente entre os morfos.

No cultivo estudado não foi encontrado uma quantidade amostral de flores com estilete no mesmo nível das anteras, porém o mesmo já foi relatado, também como raro, em outros estudos com *Solanum melongena*, com quantidade aproximada de 15% do total das flores (KOWALSKA, 2008). Dessa forma, as diferenças encontradas entre os morfos florais neste estudo, com o híbrido Nápoli, podem ocorrer devido às características selecionadas para o desenvolvimento do mesmo.

A diferença morfológica encontrada entre os morfos brevistilos e longistilos de *S. melongena* corrobora com as características descritas para a condição de polimorfismo na altura do estilete ou polimorfismo estilar (BARRET et al., 2000; BARRET, 1998), podendo-se inferir a ocorrência de uma estratégia de reprodução a partir da morfologia floral para essa espécie.

Essa condição pode acarretar algumas consequências para a planta portadora dessa característica, especialmente com relação à efetividade da polinização cruzada e posterior formação de fruto nos distintos morfos florais. Analisando as características morfológicas de *S. melongena*, é possível notar que dificilmente o corpo do polinizador, especialmente a parte ventral onde os grãos de pólen ficam aderidos, tocaria o estigma de flores brevistilas, visto que as anteras estão posicionadas de forma a impedir esse contato e, pelo fato dessa espécie não possuir néctar como recurso, o polinizador não introduz a glossa na porção mais inferior da flor, o que de alguma forma poderia auxiliar na deposição do pólen no estigma brevistilo, caso a flor oferecesse tal recurso.

Sobre isso, Vallejo-Marín et al. (2014) descrevem que o arranjo espacial dos órgãos reprodutivos em uma flor pode exercer grande influência nas taxas de autopolinização e polinização cruzada, já que a posição relativa do pistilo e dos estames pode afetar a colocação e recepção de pólen por parte do corpo do

polinizador, que por sua vez irá influenciar na taxa de transferência do pólen entre as plantas. Sendo assim, a variação floral em uma determinada espécie vegetal pode apresentar consequências decisivas no seu sucesso reprodutivo e expressar traços adquiridos durante todo o seu processo evolutivo.

A partir de tais informações, pode-se inferir que flores brevistilas teriam maior chance de conseguirem se reproduzir somente por autopolinização, quando visitadas por algum polinizador que possibilitasse que uma parte dos grãos de pólen fosse liberada para o estigma no momento da vibração das anteras ou por ação de agentes abióticos, como o vento.

Barret et al. (2000) descreve o polimorfismo estilar como um design floral que provavelmente seria uma condição de transição entre a homostilia, situação onde não há variações entre as flores e a heterostilia, indicando que muitos estudos têm assumido que este polimorfismo é instável e representa um estágio transicional na evolução da heterostilia. O autor também aponta que as várias formas de hercogamia têm sido interpretadas como um mecanismo ou estratégia para aumentar a eficiência e precisão da polinização cruzada mediada por polinizadores, entretanto a condição do polimorfismo estilar têm suscitado muitas dúvidas neste aspecto, devido à posição dos estiletos nos diferentes morfos, especialmente no morfo brevistilo, que apresenta um nível de dificuldade para a aproximação do corpo do polinizador no mesmo.

A grande quantidade de tricomas encontrados na base do estilete e no cálice, bem como alguns espinhos na base do cálice de ambos os morfos florais, sugere que os mesmos promovem a proteção dos verticilos reprodutivos, especialmente do ovário, que irá formar o futuro fruto. Boligon (2007) indica que as solanáceas podem apresentar alguns atributos físicos, como espinhos, tricomas glandulares e não glandulares, os quais são importantes para a proteção contra herbívoros, principalmente contra algumas espécies de besouros que apresentam tamanho corpóreo diminuto.

A diferença observada entre as papilas estigmáticas dos morfos brevistilo e longistilo, corroboram com observações realizadas por Rylski et al. (1984) em flores de *S. melongena*, que detectaram que o estigma de flores longistilas

possuem papilas bem desenvolvidas, com tecidos ricos em polissacarídeos, proteínas e outros nutrientes que conferem uma alta absorção de pólen, enquanto flores brevistilas possuem estigma com papilas subdesenvolvidas, com pequena quantidade de nutrientes, impossibilitando a germinação dos grãos de pólen. Os tamanhos semelhantes dos grãos de pólen provenientes de ambos os morfos também foram descritos para outras espécies andromonóicas de *Solanum* (ANDERSON; SYMON, 1989).

Quanto ao padrão de distribuição dos diferentes morfos florais na planta, pode-se inferir que uma maior quantidade de flores brevistilas no início da vida da planta garante seu sucesso reprodutivo, ao mesmo tempo em que não exige um grande gasto energético na produção de frutos, uma vez que a espécie apresenta o fenômeno da andromonoiccia, no qual flores brevistilas apresentam apenas a função masculina funcional. Assim, pode-se definir como funções das flores brevestilas a atração de polinizadores e doação de pólen viável para reprodução.

Anderson e Symon (1989) sugerem que no início da vida da planta, os polinizadores estão mais propensos a visitar uma maior quantidade de flores brevistilas, o que acarretará em um fluxo de pólen de flores funcionalmente masculinas para flores hermafroditas, que, ao longo do tempo, pode levar à uma condição de dioiccia.

## **4.2 Biologia Floral**

A estrutura floral de *Solanum melongena* é característica da família Solanaceae e está intimamente relacionada à polinização por vibração (BUCHMANN; HURLEY, 1978). O único recurso disponível é o pólen, que é produzido em grandes quantidades e liberado de maneira gradual durante todo o período de antese, o que possibilita a sua disponibilidade para diversas visitas de abelhas, maximizando sua dispersão, fato que corrobora com as observações efetuadas por Barret (1998) em outras espécies do gênero *Solanum*. Concomitantemente, esse processo facilita a recepção de pólen por parte do

estigma em mais de uma visita, agregando maior quantidade de grãos nas papilas estigmáticas e aumentando o número de óvulos fertilizados.

Apesar de cerca de 50% do pólen disponível ser consumido logo no primeiro dia de antese, as abelhas ainda continuavam visitando as flores após esse período. Segundo Buchmann (1978), essa diminuição na quantidade do recurso, pode acarretar em uma mudança no comportamento das abelhas, que podem passar a girar repetidas vezes sobre a mesma flor e a realizar um número maior de visitas. Assim, percebe-se que praticamente todo o pólen produzido pela flor é consumido pelos polinizadores, não havendo um desperdício do mesmo.

A coloração contrastante dos elementos reprodutivos é uma característica relacionada à atração de abelhas, visto que apresenta faixas de comprimento de onda no espectro visual que é perceptível pelas mesmas (KEVAN; BAKER, 1983). Um fator adicional na atração das abelhas pode ser representado pelos odores emitidos através dos osmóforos, que estão presentes na base das anteras e nas extremidades da corola. Vogel (1983) definiu os osmóforos como dispersores de odor que podem representar o papel de sinalizadores para os visitantes florais. Considerando as porções da flor que os apresentaram, os mesmos podem estar sinalizando o único recurso oferecido pelas flores de *S. melongena* – o pólen.

A alteração de cores e contrastes da corola, antera e estigma ao longo do período de antese podem constituir indicadores da redução da disponibilidade de recurso (BEZERRA; MACHADO, 2003). A duração da flor por um período aproximado de três dias pode conferir à espécie um maior sucesso reprodutivo, isto é, maiores chances de haver uma polinização efetiva. Segundo Bezerra e Machado (2003), a manutenção das flores por mais de um dia é uma vantagem energética para a planta, pois dessa forma, ocorre a redução de até metade da produção de flores novas todos os dias. Assim, as flores mais velhas passam a funcionar como um atrativo visual para as abelhas, contribuindo para a aproximação das mesmas às flores.

A diferença encontrada na viabilidade polínica entre os estágios iniciais e os próximos à senescência da flor pode ser explicada pelo fato de que, ao longo

do seu desenvolvimento, grande parte do pólen produzido pela mesma é consumido por seus visitantes e, conforme seu tempo de vida se estende, a quantidade de pólen em suas anteras tende a diminuir devido a esse consumo. Sobre isso, Souza, Pereira e Martins (2002) indicam que no momento de abertura da flor, o grão de pólen precisa estar totalmente viável mas que, conforme o tempo avança, geralmente a viabilidade do pólen tende a reduzir, diminuindo sua capacidade de fertilização. Giordano, Aragão e Boiteux (2003) observaram que, durante o processo de maturação da planta, a viabilidade do pólen pode ser afetada por vários fatores endógenos ou exógenos, como a fase de desenvolvimento da flor, altas ou baixas temperaturas externas, estado nutricional da planta, luminosidade e até mesmo defensivos agrícolas e outros produtos químicos.

Analisando a frequência dos visitantes florais de *S. melongena*, observa-se que há um sincronismo entre os horários de maior visitação e os horários de maior quantidade de grãos de pólen viáveis, o que representa uma alta chance da ocorrência de uma polinização efetiva da cultura em estudo.

### **4.3 Sistema Reprodutivo e Sexual**

Através das análises de crescimento dos tubos polínicos, pode-se constatar para *Solanum melongena* que a grande quantidade de tubos alcançando os óvulos no tratamento de polinização em condições naturais indica que seus polinizadores são muito eficientes e que a mesma apresenta certo nível de dependência de vetores de polinização para se reproduzir sexuadamente. A condição de xenógama facultativa, segundo Borges (2000) permite o aproveitamento dos benefícios da autocompatibilidade, como a replicação de genótipos bem adaptados, ao mesmo tempo em que promove a variabilidade genética através da polinização cruzada.

Freitas e Nunes-Silva (2012) indicam que mesmo sendo uma espécie autogâmica, a qualidade do fruto da berinjela (peso e número de sementes) e a quantidade de frutos produzidos pode aumentar significativamente na ocorrência da polinização biótica, o que contribui para uma maior rentabilidade da cultura.

Isso acontece porque o padrão de comportamento do polinizador ao depositar e distribuir os grãos de pólen no estigma das flores é mais eficiente do que quando esse processo ocorre através do vento ou por mecanismos de autopolinização, que, embora consigam vingam algumas sementes e frutos, não são suficientes para maximizar o potencial produtivo das plantas.

A grande quantidade de tubos polínicos formados em flores que foram expostas às condições naturais de campo, demonstra a importância da riqueza de polinizadores presentes nos arredores das culturas agrícolas. Entretanto, para que isso ocorra, é essencial que haja um ambiente heterogêneo, que proporcione locais de nidificação, assim como recursos disponíveis nos momentos em que a cultura agrícola não estiver florescendo. Tilman et al (2002) apontam que a produtividade de um sistema agrícola aumenta com a riqueza de espécies da comunidade, pois quanto maior for o número de espécies, maior será a eficiência das mesmas em explorar os recursos.

A não formação de tubos polínicos em flores brevistilas indica uma condição de andromonoiccia para *S. melongena*. Symon (1981), estudando várias espécies do gênero *Solanum*, concluiu para a berinjela uma condição de fracamente andromonóica. A andromonoiccia se caracteriza pela apresentação de flores bissexuais e flores funcionalmente masculinas na mesma planta, indicando que a ocorrência de polimorfismo floral é uma característica intrínseca dessa condição de sistema sexual (ANDERSON; SYMON, 1989).

Segundo Forni-Martins et al (1998), as flores do gênero *Solanum* são tipicamente hermafroditas, no entanto podem apresentar diversos morfos e variações nos sistemas sexuais, como a andromonoiccia, androdioiccia e dioiccia. A condição de andromonoiccia também já foi relatada para outras espécies de *Solanum*, como *S. stramonifolium* (BEZERRA; MACHADO, 2003), *S. paniculatum* (FORNI-MARTINS; MARQUES; LEMES, 1998) e *S. lycocarpum* (OLIVEIRA-FILHO; OLIVEIRA, 1988).

O padrão de distribuição dos diferentes morfos florais (2:1) em um mesmo indivíduo de *S. melongena* no início de seu desenvolvimento pode indicar uma estratégia reprodutiva da planta, visto que as flores brevistilas seriam apenas

funcionalmente masculinas, ou seja, não exigiriam uma alta demanda energética da planta para formação de frutos e funcionariam somente como um “display” para atração de polinizadores, bem como um “estoque” de pólen, não sobrecarregando energeticamente a planta-mãe no seu desenvolvimento inicial. Segundo Bawa e Opler (1975), a maior produção de flores funcionalmente masculinas seria um mecanismo desenvolvido pela planta de forma a limitar a produção de frutos, pois em grande quantidade isso poderia ser prejudicial à planta-mãe e às sementes em desenvolvimento.

Dessa forma, podemos inferir que a ineficiência na deposição de pólen em flores brevistilas poderia ter suscitado, ao longo do tempo, em uma condição de sistema sexual peculiar, caracterizado pela condição andromonóica apresentada por *S. melongena*.

## 5. CONCLUSÃO

A análise morfométrica vinculada aos tratamentos de polinização controlada permitiram concluir para *Solanum melongena* uma condição de polimorfismo na altura do estilete e andromonoiccia funcional. Também concluiu-se que a ação dos polinizadores é de grande importância o desenvolvimento da espécie, uma vez que, mesmo sendo autogâmica, a autopolinização espontânea não mostrou-se suficiente para uma efetiva fecundação de seus óvulos, como quando na ocorrência da polinização cruzada.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDERSON, G. J.; SYMON, D. E. 1989, Functional dioecy and Andromonoecy in *Solanum*. **Evolution** 43 (1) 204-219.

ANTONINI, A. C. C.; ROBLES, W. G. R.; TESSARIOLI NETO, J.; KLUGE, R. A. 2002. Capacidade produtiva de cultivares de berinjela. **Horticultura Brasileira**, 20 (4) 646-648.

BARRET, S. C. H. 1990. The evolution and adaptive significance of heterostyly. **Tree**, 5 (5) 144-148.

BARRET, S. C. H. 1998. The evolution of mating strategies in flowering plants. **Trends in Plant Science**, 3 (9) 335-341.

BARRET, S. C. H.; JESSON, L. K.; BAKER, A. M. 2000. The evolution and function of stylar polymorphisms in flowering plants. **Annals of Botany**, 85, 253-265.

BAWA, K. S. E OPLER, P. A. 1975. Dioecism in tropical forest trees. **Evolution**, 29: 167-179.

BEZERRA, E. L. de S.; MACHADO, I. C. 2003. Biologia floral e sistema de polinização em *Solanum stramonifolium* Jacq. (Solanaceae) em remanescente de Mata Atlântica, Pernambuco. **Acta bot. bras.**, 17(2): 247-257.

BOLIGON, D. S. 2007. **Variação nos tricomas de *Solanum sisymbriifolium* (Solanaceae) e herbivoria por larvas de *Gratiana spadicea* (Coleoptera, Chrysomelidae).** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 61p.

BORGES, H. B. N. 2000. **Biologia reprodutiva e conservação do estrato lenhoso numa comunidade do Cerrado.** Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 158p.

BUCHMANN, S. L. & HURLEY, J. P. 1978. A biophysical model for buzz pollination in Angiosperms. **J. Theor. Biol.**, 72: 639-657.

BUCHMANN, S. L.; JONES, C. E.; COLIN, L. J. 1977. Vibratile pollination of *Solanum douglasii* and *Solanum xantii* (Solanaceae) in Southern California. **The Wasman Journal Biology**, 25 (1).

DAFNI, A. **Pollination ecology: a practical approach**. 1992. Oxford University Press: New York. 250 p.

DE LUCA, P. A. E VALLEJO-MARÍN, M. 2013. What's the "buzz" about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. **Current Opinion in Plant Biology** 16: 429-435.

FAEGRI, K. E VAN DER PIJL, L. 1980. **The principle of pollination ecology**. New York: Pergamon Press.

FORNI-MARTINS, E. R.; MARQUES, M. C. M. M.; LEMES, M. R. 1998. Biologia floral de *Solanum paniculatum* L. (Solanaceae) no estado de São Paulo, Brasil. **Rev. Bras. Bot.**, 21 (2).

FREITAS, B. M., NUNES-SILVA, P. 2012. **Polinização Agrícola e sua Importância no Brasil**. In Imperatriz-Fonseca, V. L. et al. Polinizadores no Brasil. Edusp: São Paulo. p. 103-118.

GIORDANO L. B, ARAGÃO F. A. S. E BOITEUX L. S. 2003. Melhoramento genético do tomateiro. **Informe Agropecuário** 24: 43-57.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. 1997. Pollinators, Flowering Plants, and Conservation Biology. **BioScience**, 47 (5) 297-307.

KEVAN, P. G. E BAKER, H. G. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. **Ann. Ver. Entomol.** 28: 407-453.

KOWALSKA G. 2008. Flowering biology of eggplant and procedures intensifying fruit set – review. **Acta Scientiarum Polonorum, Hortum Cultus**, 7 (4):63-76.

MARTIN, F. W. 1959. Staining and observing pollen tubes in the style by means of fluorescence. **Stain Technology** 34: 125-128.

NUNES-SILVA, P. 2011. Capacidade vibratória e polinização por vibração nas abelhas do gênero *Melipona* (Apidae, Meliponini) e *Bombus* (Apidae, Bombini). Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. 133p.

NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2010. A polinização por vibração. **Oecologia Australis** 14 (1): 140-151.

RADFORD, A. E.; DICKINSON, W. C.; MASSEY, J. R.; BELL, C. R. 1974. **Vascular plant systematics**. New York: Harper & Row, 891 p.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F. E EICHHORN, S. E. 2007. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 856p.

RIBEIRO, C. S. da C.; BRUNE, S.; REIFCHNEIDER, F. J. B. 1998. **Cultivo da berinjela**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 23 p.

RYLSKI I., NOTHMANN J., ARCAN L. 1984. Differential fertility in short – styled eggplant flowers. **Sci. Hortic.** 22: 39–46.

SETZER, J. 1976. **Atlas climático do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 98p.

SOUZA, M. M. de; PEREIRA, T. N. S.; MARTINS, E. R. 2002. Microsporogênese e microgametogênese associadas ao tamanho do botão floral e

da antera e viabilidade polínica em maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener). **Ciência Agrotecnologia**, Lavras 26 (6) 1209-1217.

SYMON, D.E. 1981. A revision of the genus *Solanum* in Australia. **J. Adel. Bot. Gard.** 4: 1–367.

VALLEJO-MARÍN, M.; WALKER, C.; FRISTON-REILLY, P.; SOLÍS-MONTERO, L.; IGIC, B. 2014. Recurrent modification of floral morphology in heterantherous *Solanum* reveals a parallel shift in reproductive strategy. **Phil. Trans. R. Soc. B.** 369: 20130256.

TATIS, H. A.; AYALA, C. C.; CAMACHO, M. E. 2009. Caracterización de La morfología floral de dos cultivares de berinjena (*Solanum melongena* L.) (Solanaceae). **Rev. Fac. Nal. Agr. Medelín** 62 (2): 5125-5134.

VOGEL, S. T. 1978. Evolutionary shifts from reward to deception in pollen flowers. In: Richards, A. J. **The pollination of flowers by insects**. Academic Press, London. p. 89-95.

VOGEL, S. T. 1983. Duftdrüsen im dienstre der Bestäubung über Bau und Funktion der Osmophoren. **Akad. Wiss. Abd. Math.Naturwiss. KI** 10: 598-763.

WILLMER, P. 2011. **Pollination and Floral Ecology**. New Jersey: Princeton University Press, 828p.

**Capítulo II. Visitantes florais e eficácia de polinizadores em flores de  
berinjela (*Solanum melongena* L.)**

## RESUMO

A importância dos polinizadores na agricultura mundial vem sendo cada vez mais destacada, especialmente em países em desenvolvimento. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivos avaliar a eficácia de diferentes espécies de polinizadores na formação do fruto de *Solanum melongena*, verificando a riqueza de seus visitantes florais e avaliando o comportamento específico das distintas espécies. O estudo foi realizado em duas áreas de cultivo agrícola convencional, em Estiva Gerbi e Piracicaba, ambas no estado de São Paulo. Os visitantes florais foram observados entre fevereiro e junho de 2014. Através das observações constatou-se a presença de abelhas dos gêneros *Bombus*, *Xylocopa*, *Apis*, *Trigona*, *Pseudaugochloropsis*, *Oxaea* e *Exomalopsis*. Para verificar a eficácia de diferentes polinizadores na formação de frutos e sementes da berinjela, foram selecionadas duas espécies de abelhas com comportamentos de forrageamento distintos: *Apis mellifera*, que não vibra e *Exomalopsis diminuta*, que vibra as anteras da flor para liberação do pólen. A eficácia de cada espécie para a produção de frutos foi comparada através de análise de variância. Detectou-se a existência de diferença significativa a 5% de probabilidade entre as médias de peso, comprimento e número de sementes, não diferindo significativamente apenas os valores de diâmetro dos frutos. Podemos concluir para *S. melongena* que existem várias espécies que exercem papel de polinizadores, porém espécies que possuem o comportamento vibratório contribuem de maneira mais efetiva para o desenvolvimento desta cultura.

**Palavras-chave:** Polinizador chave, culturas agrícolas, abelhas.

## ABSTRACT

The importance of pollinators in world agriculture is becoming more and more prominent, especially in developing countries. In this context, this study aimed to evaluate the effectiveness of different species of pollinators in the fruit development of *Solanum melongena*, by checking the diversity of its floral visitors and evaluating the specific behavior of the different species. The study was conducted in two areas of conventional agricultural crop in Estiva Gerbi and Piracicaba, both in the state of São Paulo. The floral visitors were observed between February and June 2014. The observations found the presence of the bee genera *Bombus*, *Xylocopa*, *Apis*, *Trigona*, *Pseudaugochloropsis*, *Oxaea* and *Exomalopsis*. To check the effectiveness of different pollinators in the development of eggplant fruits and seeds, two bee species with different foraging behaviors were chosen: *Apis mellifera*, which does not vibrate, and *Exomalopsis diminuta*, which vibrates the flower anthers to release pollen. The effectiveness of each species in fruit production was compared using analysis of variance. Noted the existence of a significant difference at 5% probability between the mean weight, length and number of seeds, not differing significantly only the fruit diameter values. It was concluded that, for *S. melongena*, there are several species playing the role of pollinators, yet species with a vibratory behavior contribute more effectively to the development of this crop.

**Keywords:** Key pollinator, agricultural crops, bees.

## 1. INTRODUÇÃO

A riqueza de polinizadores em determinadas espécies vegetais pode estar intimamente relacionada às suas características florais, que são capazes de atrair, repelir a até mesmo mobilizar o desenvolvimento de um processo de aprendizagem na manipulação de estruturas que possuem acesso restrito para a maioria das espécies. Segundo De Luca e Vallejo-Marín (2013) muitas espécies vegetais desenvolveram características florais peculiares durante o processo evolutivo, com o objetivo de restringir o acesso ao pólen e controlar sua taxa de remoção, processo resultante de uma provável competição entre plantas e visitantes florais (incluindo indivíduos pilhadores e polinizadores).

No que tange às estruturas diretamente relacionadas com a reprodução da planta, a grande maioria das Angiospermas apresenta anteras com deiscência longitudinal, em detrimento de aproximadamente 8% das espécies com deiscência poricida (entre 15000 e 20000 espécies). As principais espécies que possuem flores com anteras poricidas pertencem aos gêneros *Cassia* (Leguminosae) e *Solanum* (Solanaceae) (NUNES-SILVA; HRNCIR; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010).

Essa característica da antera exige de seus polinizadores um comportamento específico para a retirada do pólen, denominado polinização vibrátil (*buzz pollination*) (BUCHMANN; JONES; COLIN, 1977), no qual as abelhas, geralmente fêmeas coletoras de pólen, utilizam a musculatura torácica para vibrar as anteras da flor, liberando dessa forma, os grãos de pólen (WOODCOCK, 2012). Segundo o autor, ainda não se sabe se esse comportamento é instintivo ou aprendido durante o processo das primeiras visitas às flores.

A polinização por vibração costuma ser efetuada por abelhas das famílias Andrenidae, Apidae (com exceção do gênero *Apis*), Colletidae, Halictidae e Meghachilidae (MICHENER, 2000). Segundo Nunes-Silva et al (2010), esse tipo de polinização é altamente relevante para o cultivo de espécies da família Solanaceae, como a berinjela.

A fim de determinar diferentes potenciais de polinização, estão sendo desenvolvidos estudos comparativos para avaliar a eficiência de determinadas espécies na polinização de diversas culturas agrícolas (IMPERATRIZ-FONSECA; SARAIVA; GONÇALVES, 2007). Segundo Klein et al (2007), esses estudos são realizados através do acesso controlado das espécies polinizadoras às flores, podendo-se variar o número de visitas das mesmas, com o objetivo de comparar a sua efetividade na formação de frutos e sementes, fornecendo dessa maneira, dados relevantes para a identificação de polinizadores chaves.

Entretanto, ainda não há uma concordância entre as definições e termos utilizados para classificar o potencial das espécies de polinizadores para cada cultura ou espécie específica, o que acaba gerando uma barreira para comparações mais amplas e avanços conceituais nesta área (FREITAS, 2013). Segundo o autor, três termos principais podem ser utilizados para determinar distintos potenciais dos polinizadores, a saber: a eficácia, que determina a contribuição que cada polinizador específico fornece ao sucesso reprodutivo da planta, isto é, representa uma medida de quanto uma única visita do mesmo contribui para a produção de sementes e formação de frutos; a eficiência, que leva em conta a estratégia de forrageio do polinizador, assim como o consumo de recursos e desperdício de pólen; e a efetividade, que mede a contribuição total do polinizador, ou seja, inclui a eficácia, intensidade e eficiência do mesmo.

Muitas culturas já foram estudadas neste aspecto e constatou-se que a presença de abelhas aumentou significativamente a produtividade das mesmas, como por exemplo, no caso do caju, acerola e goiaba (FREITAS; IMPERATRIZ-FONSECA, 2005). Em culturas como as de pimentão e morango, a polinização biótica diminuiu em até 43% a má formação de frutos e em oleaginosas aumentou em até 27% o teor de óleo nas sementes (MALAGODI-BRAGA; KLEINERT, 2007).

Há também culturas que possuem a capacidade de se autofecundarem, ou seja, não são dependentes dos polinizadores para se reproduzirem, como é o caso do tomate e da berinjela. Entretanto, se as mesmas forem polinizadas por vetores

bióticos, a qualidade do fruto (peso e número de sementes), bem como o número de frutos produzidos pode aumentar significativamente, aumentando consequentemente a rentabilidade da cultura (KEVAN; PHILLIPS, 2001). Freitas e Nunes-Silva (2012) indicam que isso acontece porque o padrão de comportamento do polinizador ao depositar e distribuir os grãos de pólen no estigma das flores é mais eficiente do que quando esse processo ocorre através do vento ou por mecanismos de autopolinização espontânea, que, embora consigam vingar algumas sementes e frutos, não são suficientes para maximizar o potencial produtivo das plantas.

Freitas e Nunes-Silva (2012) apontam também que, no caso de espécies que são fortemente dependentes de polinizadores bióticos, como a maçã, o maracujá e o melão, diferenças mínimas na quantidade e na eficiência dos polinizadores podem acarretar variações significativas nos índices de polinização e, como consequência, influenciarem na rentabilidade da cultura, chegando mesmo a afastar os produtores da atividade.

No caso de culturas com dependência de polinização nos países em desenvolvimento, Aizen et al (2009) apontam que se houvesse um declínio de polinizadores nesses locais, seria necessário plantar uma área seis vezes maior para que a produtividade fosse semelhante a apresentada por países desenvolvidos, o que reforça o importante papel dos polinizadores, especialmente como contribuintes de práticas mais sustentáveis para o ambiente.

Assim, uma das primeiras medidas para se promover a conservação de polinizadores é motivar estudos sobre as relações existentes entre polinizadores e plantas economicamente importantes, o que engloba a análise do papel ecológico e econômico dos polinizadores e informações essenciais como o efeito da polinização na produção de frutos e sementes (ALLEN-WARDELL; BERNHARDT; BITNER, 1998).

A partir desse contexto, o objetivo geral deste capítulo foi avaliar a eficácia de diferentes espécies de polinizadores na formação do fruto de *Solanum melongena*. Os objetivos específicos foram: 1) verificar a riqueza de seus visitantes florais; e 2) avaliar o comportamento específico das distintas espécies

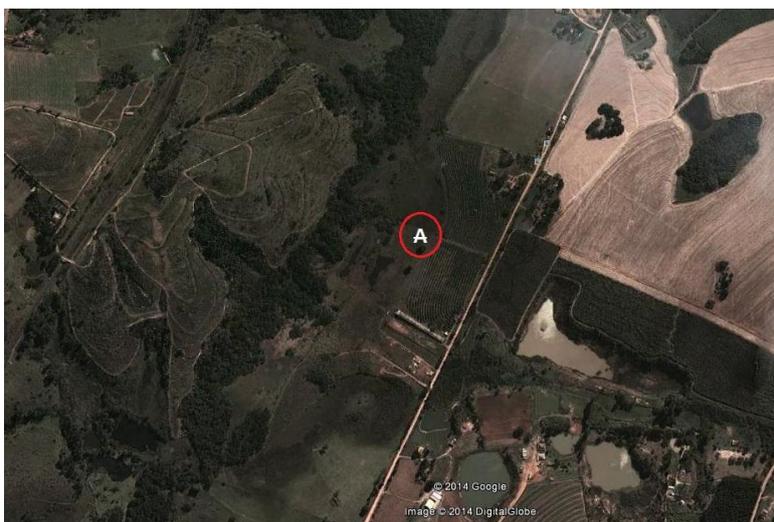
de visitantes florais. Os resultados podem contribuir de forma a aumentar o número de informações sobre espécies de abelhas nativas como polinizadores, bem como auxiliar produtores rurais na elaboração de manejos adequados para aumentar a produtividade de culturas agrícolas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Áreas de Estudo

A observação dos visitantes florais de *S. melongena* foi realizada em uma área de cultivo agrícola convencional de exploração comercial da berinjela, localizada no município de Estiva Gerbi (22°16'20.73"S, 46°56'46.17"O), região leste do estado de São Paulo (Figura 1). A área do município é de 74, 208 km<sup>2</sup> (IBGE, 2013). O plantio de berinjela estava instalado na Fazenda Cercado Grande (área total de 7.370 ha) com cerca de 23.000 pés no total (Figura 2), perfazendo uma área de aproximadamente 4,5 ha.

**Figura 1.** Vista aérea do município de Estiva Gerbi/SP. (A) Região da fazenda Cercado Grande. Fonte: <http://earth.google.com>



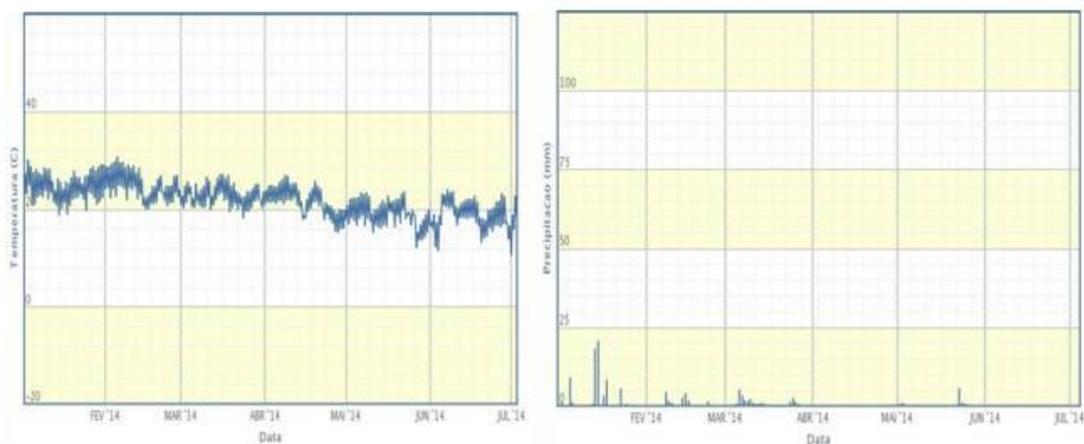
**Figura 2.** Área do plantio de berinjela com sistema de condução por estacas de bambu em Estiva Gerbi. (A) vista geral da plantação; (B) vegetação presente nos arredores da plantação.



Segundo Candido e Zaine (2005), Estiva Gerbi teve um desenvolvimento primário baseado principalmente em atividades com cerâmicas e olarias. Atualmente, as atividades agrícolas e agropecuárias predominam no município, dentre as quais, o cultivo de berinjela se insere, com cerca de 1,3 ha de área cultivada/ano (Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 2013).

Estiva Gerbi está inserida no regime climático tropical com estação seca de inverno (Aw) e com as temperaturas médias no período de verão em torno de 24°C e mínimas próximas de 16°, tendo dessa maneira, seus maiores índices de chuva nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, totalizando anualmente uma precipitação média em torno de 1300 mm (SETZER, 1976). As variáveis climáticas - temperatura e pluviosidade - durante o período de estudo (Figura 3) foram verificadas com auxílio de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014).

**Figura 3.** Temperaturas e precipitações médias mensais entre o período de fevereiro e julho de 2014 para a região de Estiva Gerbi/SP. Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)



Os testes de eficácia com diferentes espécies de abelhas foram realizados em uma propriedade agrícola de exploração comercial da berinjela, em Piracicaba ( $22^{\circ}42'30''$  S,  $47^{\circ}38'00''$  O), estado de São Paulo (Figura 4). A área total do município é de 1.378, 501 km<sup>2</sup>, com uma área rural de aproximadamente 120.000 ha (IBGE, 2014). O plantio de berinjela estava instalado no bairro Nova Suíça, região rural de Piracicaba, com aproximadamente 2.000 pés (Figura 5), totalizando uma área de 1,5 ha.

**Figura 4.** Vista aérea do município de Piracicaba/SP. (A) Região do Bairro Nova Suíça. Fonte: <http://earth.google.com>

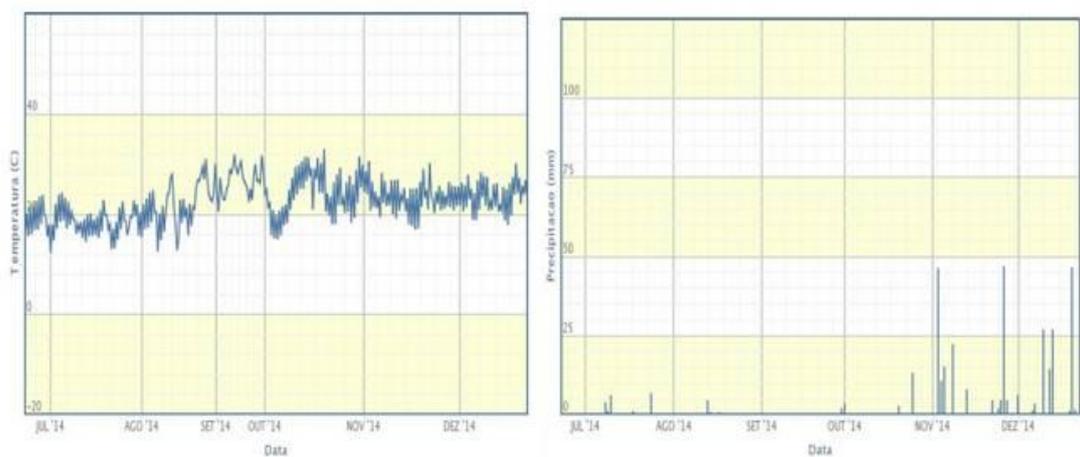


**Figura 5.** Área do plantio de berinjela com sistema de condução por estacas de bambu em Piracicaba. (A) vegetação presente nos arredores da plantação; (B) vista geral da plantação.



O clima predominante em Piracicaba é o subtropical úmido (Cwa), apresentando temperaturas médias entre 16°C e 22°C e inverno seco. As variáveis climáticas - temperatura e pluviosidade - durante o período de estudo (Figura 6) foram verificadas com auxílio de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014).

**Figura 6.** Temperaturas e precipitações médias mensais entre o período de julho e dezembro de 2014 para a região de Piracicaba/SP. Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)



## 2.2 Amostragem dos visitantes florais

Os visitantes florais foram observados durante as atividades de forrageamento ao longo do período de floração de *S. melongena*, entre fevereiro e junho de 2014. As observações e coletas dos mesmos ocorreram nos períodos da manhã (das 6h às 12h) e da tarde (das 13h às 17h) e totalizaram 50 horas. Realizou-se a coleta dos visitantes florais em seus períodos de atividade, com

auxílio de rede entomológica. Alguns indivíduos pousados nas flores foram coletados e mortos com auxílio da câmara mortífera, onde se utilizou éter como substância tóxica para insetos.

Foi realizada a caracterização dos visitantes florais através de observações de campo, as quais foram complementadas com a análise de fotografias e vídeos, onde constatou-se as estruturas da flor tocadas pelos mesmos, bem como o comportamento apresentado por eles no momento de visitação às flores. As espécies observadas tocando o estigma e coletando pólen (com ou sem comportamento vibratório) foram classificadas inicialmente como polinizadoras, enquanto as espécies que apresentaram comportamento de danificar a flor para a coleta de pólen foram classificadas como pilhadoras.

Referente ao comportamento dos polinizadores observou-se o modo como os mesmos abordaram a flor, a atuação no momento de forrageio e ao abandonar a flor, assim como a frequência de cada um deles. Posteriormente foi coletado indivíduos das espécies visitantes para identificação taxonômica, realizada com auxílio de chaves de identificação específicas para abelhas (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

Para calcular a frequência das espécies de visitantes florais, calculou-se o percentual do número de visitas de cada espécie em relação ao total visualizado:  $F = (n_i/N) \times 100$ , onde  $n_i$  = número de visitas da espécie  $i$  e  $N$  = número total de visitas (VILHENA, 2009).

### **2.3 Eficácia dos polinizadores**

Para verificar a eficácia de diferentes polinizadores na formação de frutos e sementes da berinjela, foram selecionadas duas espécies de abelhas com comportamentos de forrageamento distintos: *Apis mellifera* (n=10), que não possui comportamento vibratório para retirada do pólen e *Exomalopsis diminuta* (n=10), que vibra as anteras da flor para liberação dos grãos de pólen. Os critérios para essa seleção levaram em conta a frequência das espécies de polinizadores, de modo a facilitar a realização dos testes e também seus respectivos comportamentos, a fim de se comparar e identificar fatores que

podem exercer influência na frutificação e formação de sementes. Também realizou-se um tratamento de polinização em condições naturais, com livre visitação dos polinizadores (n=10).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Para os tratamentos controlados, flores de cinco indivíduos foram ensacadas na pré-antese (Figura 7) e expostas às abelhas selecionadas no dia posterior para a realização de uma única visita, sendo ensacadas novamente após a visita e monitoradas até o desenvolvimento total do fruto. No tratamento de livre visitação, as flores foram expostas aos visitantes no dia posterior à antese e não foram ensacadas após esse período, sendo também monitorado o desenvolvimento do fruto.

Durante o período de exposição das flores, o tempo de permanência de cada espécie na flor foi observado, de modo que visitas com duração acima de 30 segundos foram classificadas como longas e abaixo desse tempo como curtas. Após trinta dias aproximadamente, os frutos foram colhidos para avaliação do número de sementes formadas, peso, comprimento e diâmetro.

**Figura 7.** Desenvolvimento do fruto de *S. melongena*. (A) botão floral ensacado com tule; (B) flor em antese ensacada com tule; (C) fruto maduro.



A eficácia de polinização das espécies de abelhas foi comparada através da análise de variância, utilizando-se o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, através do software Action 2.7. Foi utilizado também o índice de Spears (SPEARS, 1983), um método para avaliar a importância relativa de diferentes visitantes florais para a polinização de plantas. Por meio da comparação do número de sementes produzidas por um polinizador após uma

única visita numa flor que ainda não tenha recebido nenhuma visita, com aquelas produzidas em flores que não receberam nenhuma visita e que receberam número ilimitado de visitas, calcula-se o índice. Seu resultado varia de zero, quando não há contribuição do polinizador, até 1, quando a produção de sementes pelo polinizador é igual a de flores que receberam visitas ilimitadas.

O índice é calculado através da fórmula:  $PE_i = P_i - Z / U - Z$ , onde  $PE_i$  = eficiência de polinização de uma espécie  $i$ ;  $P_i$  = média do número de sementes provenientes de flores que receberam uma única visita da espécie  $i$ ;  $Z$  e  $Z'$  = média do número de sementes provenientes de flores que não receberam visitas;  $U$  = média do número de sementes provenientes de flores que receberam visitas ilimitadas.

Para averiguar a relação entre a duração das visitas de *A. mellifera* e *E. diminuta* com a qualidade do fruto quanto às características peso e número de sementes, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) para cada uma dessas variáveis.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Amostragem de visitantes florais

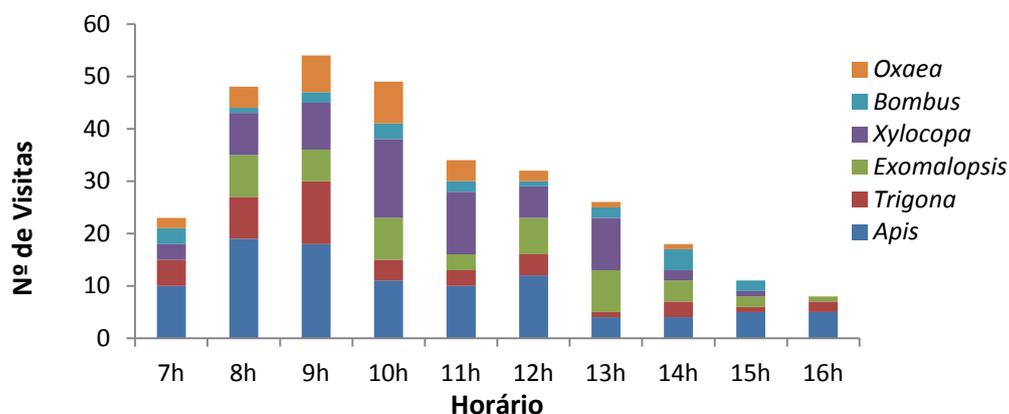
Através das observações, constatou-se a presença de abelhas dos gêneros *Bombus*, *Xylocopa*, *Apis*, *Trigona*, *Pseudaugochloropsis*, *Oxaea* e *Exomalopsis*, perfazendo um total de sete espécies, pertencentes às famílias Apidae, Halictidae e Andrenidae (Tabela 1). Também observou-se a presença de um díptero da família Syrphidae. Referente ao comportamento específico de cada espécie de polinizador, notou-se uma variação entre os mesmos, tanto no que diz respeito ao padrão de deslocamento na flor e à forma de coleta de pólen, quanto ao tempo de permanência na flor.

**Tabela 1.** Identificação, frequência relativa e comportamento das espécies de visitantes florais observados em cultivo de *Solanum melongena* L. no período de fevereiro e junho de 2014 em Estiva Gerbi, São Paulo. PO = polinizador/ PI = pilhador.

INSECTA	Visitantes florais	Frequência relativa (%)	Comportamento
<b>HYMENOPTERA</b>			
ANDRENIDAE			
Oxaeini	<i>Oxaea flavescens</i> Klug, 1807	9,4	PO
APIDAE			
Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	31,9	PO
Bombini	<i>Bombus morio</i> Swederus, 1787	6,8	PO
Exomalopsini	<i>Exomalopsis diminuta</i> Silveira, 1996	15,6	PO
Meliponini	<i>Trigona spinipes</i> Fabricius, 1793	14,0	PO/PI
Xylocopini	<i>Xylocopa frontalis</i> Olivier, 1789	20,8	PO
HALICTIDAE			
Augochlorini	<i>Pseudaugochloropsis graminea</i> Fabricius, 1804	1,3	PO
<b>DIPTERA</b>	<i>Syrphidae</i> sp.	0,9	PO/PI

Os visitantes mais frequentes foram indivíduos de *Apis mellifera* (31,9%), *Xylocopa frontalis* (20,8%) e *Exomalopsis diminuta* (15,6%), sendo mais constantes no período entre 8h e 10h da manhã (Figura 8), horários em que a temperatura começa a se elevar. Das 14h às 16h notou-se uma queda acentuada nas visitas por parte de todas as espécies e após às 16h, horário em que a temperatura e a luminosidade começam a baixar, não foi observado nenhuma espécie visitando as flores.

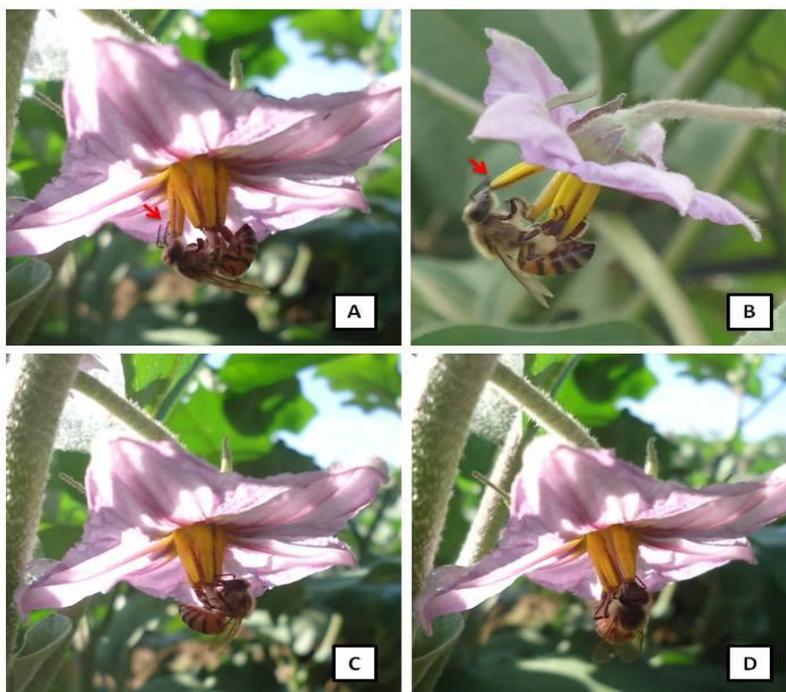
**Figura 8.** Frequência de polinizadores em *Solanum melongena* híbrido Nápoli em diferentes horários do dia.



*Apis mellifera*, espécie de abelha africanizada, foi a espécie com maior frequência de visitação às flores de *S. melongena* e costumava visitá-las durante os períodos da manhã e da tarde, tendo seu pico de visitação entre às 8h e 12h. No momento de abordagem à flor, *A. mellifera* costuma utilizar o estigma (em flores longistilas) ou as anteras (em flores brevistilas) como plataforma de pouso. Como não possui a capacidade de vibrar as anteras, ela se comporta de modo a “empurrá-las” com a cabeça, uma por vez, se movimentando em sentido horário, na tentativa de liberar os grãos de pólen (Figura 9 – A,B) e, a partir desses movimentos, contata as partes reprodutivas da flor, o que a caracteriza como um potencial polinizador.

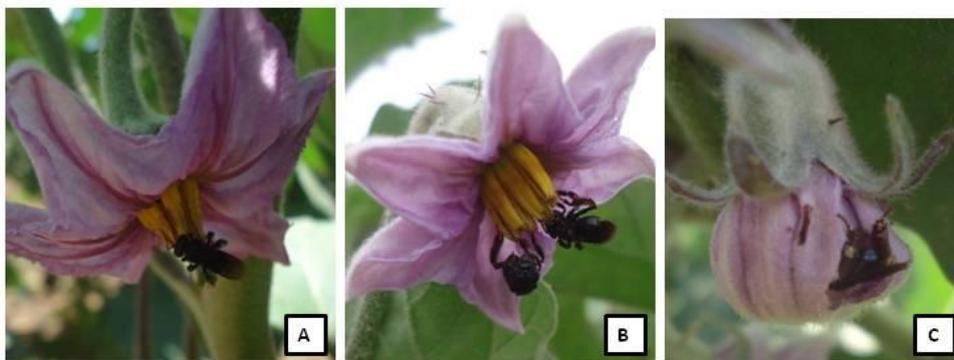
A espécie também apresentou o comportamento de introduzir a glossa no poro da antera para retirar os grãos de pólen. Para se limpar e transferir o pólen coletado para as corbículas, *A. mellifera* se apoia no estilete da flor (quando esta é longistila) ou então pousa sobre uma folha. Sua visita possui duração variando entre 10 segundos e 2 minutos aproximadamente.

**Figura 9.** Comportamentos apresentados por *Apis mellifera* durante atividades de forrageio. (A) coleta de pólen em flor longistila; (B) coleta de pólen em flor brevestila – em ambos os casos, seta indicando o detalhe da abelha empurrando a antera com a cabeça; (C) e (D) coleta de pólen através da introdução da glossa no poro da antera.



*Trigona spinipes* apresentou um modo de abordar a flor semelhante ao da *A. mellifera*, uma vez que essa espécie também não possui o comportamento de vibração. Após pousar no estilete (em flores longistilas) utilizando-o como plataforma de pouso, ela costuma introduzir a glossa no poro da antera para retirada dos grãos de pólen. Também foi observado o comportamento de pilhagem e florivoria por parte dessa espécie, através do qual a mesma se comportou de forma a danificar a corola de flores em pré-antese para ter acesso às anteras (Figura 10) e realizou pequenos orifícios nos poros e ao longo da antera em flores em antese. Para transferir o pólen às corbículas, a espécie apresentou comportamento semelhante ao das outras espécies citadas. A espécie costuma visitar as flores durante o dia todo, das 7h da manhã às 16h da tarde. O tempo de duração de suas visitas variou entre 20 segundo e 2 minutos.

**Figura 10.** Comportamentos apresentados por *Trigona spinipes* durante as atividades de forrageio. (A) coleta de pólen através da introdução da glossa no poro da antera; (B) dois indivíduos da espécie coletando pólen na mesma flor; e (C) comportamento de herbivoria – botão floral danificado para obtenção de acesso às anteras.



*Xylocopa frontalis*, a segunda espécie de polinizador mais frequente, bem como *Bombus morio* e *Oxaea flavescens*, com frequências de visitação mais inferiores, apresentaram comportamentos semelhantes, já que apresentam tamanhos aproximados e a capacidade de vibrar (Figura 11). Conhecidas popularmente como mamangavas, essas espécies possuem um tamanho corporal grande (entre 15 e 20mm) em detrimento a outras espécies visitantes de *S. melongena* e, desta maneira, ao abordarem a flor, conseguem vibrar todas as anteras de uma só vez, realizando rapidamente suas visitas.

Ao abordarem a flor, elas pousam diretamente sobre as anteras nos dois morfos florais, agarrando-as com os dois primeiros pares de pernas e vibrando-as, mantendo o abdome encurvado (Figura 11) e liberando os grãos de pólen. Em flores longistilas, há o contato direto da superfície ventral do corpo das abelhas com o estigma, uma vez que este se apresenta acima do nível das anteras.

Para depositar os grãos de pólen nas corbículas (ou escopas, no caso de *O. flavescens* e *X. frontalis*) elas se apoiam no estilete (quando em flores longistilas), em uma antera (quando em flores brevistilas) ou pousam sobre uma folha que se encontre próxima à flor visitada. Suas visitas possuem duração aproximada de 5 segundos. As três espécies apresentaram maior frequência de visitação às flores durante o período da manhã, entre 8h e 12h.

*Exomalopsis diminuta* apresentou comportamento de vibração e modo de abordagem da flor semelhante nos dois morfos florais. Ao pousar na flor, ela se dirige diretamente para uma ou duas anteras, agarra-as com os primeiros pares de pernas, vibrando-as e repetindo esse comportamento em outras anteras. Durante seu deslocamento pelas anteras, contata o estigma da flor. Após coletar o pólen, geralmente costuma pousar sobre uma folha para transferi-lo às escopas. Suas visitas possuem duração variando entre 30 segundos e 3 minutos e ocorrem geralmente nos horários mais quentes do dia, entre as 10h da manhã e 13h da tarde.

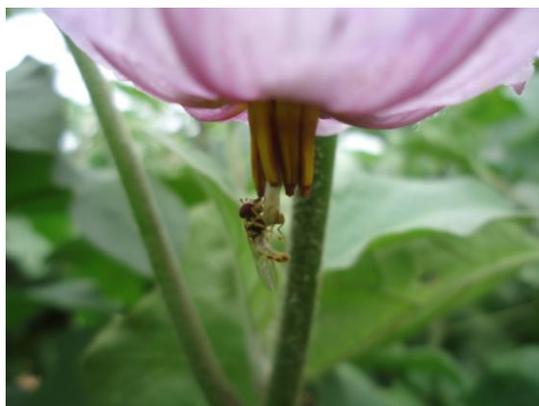
*Pseudaugochloropsis graminea* foi observada apenas três vezes visitando as flores de *S. melongena*, no período da manhã (Figura 11-D). Apresentou um comportamento semelhante ao da *Exomalopsis diminuta*.

**Figura 11.** Espécies de abelhas que possuem o comportamento de vibração. (A) *Oxaea flavescens*; (B) *Xylocopa frontalis* – seta indicando o detalhe das escopas com carregamento polínico; (C) *Exomalopsis diminuta*; e (D) *Pseudaugochloropsis graminea*.



Os indivíduos da família Syrphidae (Figura 12) também foram observados três vezes visitando as flores – somente longistilas - no período da tarde, após às 12h. Suas visitas foram longas, com cerca de 3 minutos de duração. Ao abordarem a flor, os sirfídeos utilizam o estilete como plataforma de pouso e, nesse momento, também contata o estigma. Para retirar os grãos de pólen das anteras também apresentou o comportamento de introduzir a glossa no poro da mesma.

**Figura 12.** Espécie de díptero da família Syrphidae visitando uma flor de *Solanum melongena* L.



Foi observado entre indivíduos de *A. mellifera* e abelhas nativas o comportamento de competição por recursos, sendo apresentado pela espécie exótica uma atuação agressiva com outras espécies, muitas vezes expulsando-as da flor.

### 3.2 Eficácia dos Polinizadores

A partir dos tratamentos realizados, constatou-se que os frutos formados a partir da polinização por *Apis mellifera* possuíam em média 586 sementes, enquanto os provenientes da polinização por *Exomalopsis diminuta* possuíam uma média de 1.391 sementes. A análise de variância (ANOVA) indicou a existência de diferença significativa a 5% de probabilidade entre as médias do peso e do número de sementes produzidas pela polinização realizada por *A. mellifera* e por *Exomalopsis diminuta* (Tabela 2).

A média de sementes formadas a partir do tratamento de polinização em condições naturais (U) foi de 2.087. Calculando-se o Índice de Eficiência de Polinização de Spears ( $PE_i$ ) para as duas espécies de abelhas testadas, verificou-se que apenas uma única visita de ambas não é suficiente para formar a quantidade de sementes encontradas em frutos formados a partir da polinização com livre visitação. Entretanto, *E. diminuta* ( $PE_{Ed} = 0,65$ ) se aproximou mais dessa média em detrimento da *A. mellifera* ( $PE_{Am} = 0,26$ ).

**Tabela 2.** Comparação da eficácia de polinização ( $PE_i$ ) quanto ao número de sementes formadas, de *Apis mellifera* e *Exomalopsis diminuta* em *Solanum melongena* (média  $\pm$  desvio padrão).

Espécie abelha	Número de Sementes	$PE_i$
<i>Apis mellifera</i>	586 $\pm$ 141,2 a	0,26
<i>Exomalopsis diminuta</i>	1395 $\pm$ 72,1 b	0,65

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a  $p < 0,05$

Referente ao teste de polinização em condições naturais e os testes com as diferentes espécies de abelhas, a análise de variância indicou a existência de diferença significativa a 5% de probabilidade entre as médias de peso,

comprimento e número de sementes, não diferindo significativamente apenas os valores de diâmetro dos frutos (Tabela 3). Mesmo apresentando uma quantidade inferior de sementes, os frutos formados por *E. diminuta* obtiveram maiores médias de peso e comprimento, quando comparados com os frutos formados em condições naturais (Tabela 3).

**Tabela 3.** Comparação da eficácia de polinização quanto à qualidade do fruto – peso, comprimento diâmetro e número de sementes em diferentes tratamentos: polinização em condições naturais, realizada por *Apis mellifera* e realizada por *Exomalopsis diminuta* em *Solanum melongena* (média  $\pm$  desvio padrão).

Tratamento	Peso	Comprimento	Diâmetro	Nº de sementes
Condições naturais	301,2 $\pm$ 25,9 a	20,6 $\pm$ 0,9 a	22,6 $\pm$ 1,8 a	2087,4 $\pm$ 188,7 a
<i>Apis mellifera</i>	214,8 $\pm$ 28,5 b	17,4 $\pm$ 2,1 b	20,7 $\pm$ 2,2 a	586,2 $\pm$ 141,1 b
<i>Exomalopsis diminuta</i>	342,2 $\pm$ 15,6 c	24,2 $\pm$ 0,8 c	22,6 $\pm$ 0,9 a	1388,7 $\pm$ 75,0 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a  $p < 0,05$

Os frutos provenientes da polinização realizada por *A. mellifera* e *E. diminuta* apresentam diferenças notáveis em características como peso, comprimento (Figura 13) e número de sementes.

**Figura 13.** Frutos provenientes da polinização por *Exomalopsis diminuta* e por *Apis mellifera*, respectivamente.



Os resultados do coeficiente de correlação entre o tempo de duração das visitas das abelhas e as características dos frutos (peso e número de sementes) indicaram, de maneira geral, a existência de correlação positiva moderada entre tais fatores. Quanto ao peso, *A. mellifera* apresentou correlação fortemente positiva com o tempo de permanência da flor ( $r= 0,64$ ), enquanto *E. diminuta* apresentou correlação moderada positiva ( $r= 0,30$ ). Em relação ao número de sementes, ambas apresentaram correlação moderada positiva, com valores de  $r= 0,42$  para a primeira e  $r=0,31$  para a segunda.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Amostragem de visitantes florais

A flor de *S. melongena*, por possuir anteras com deiscência poricida, exige de seus polinizadores um comportamento vibratório, conhecido como sistema de polinização vibrátil (BUCHMANN; JONES; COLIN, 1977). Entretanto, observou-se a realização de visitas por parte de polinizadores que não apresentam tal comportamento, como é o caso da *Apis mellifera* e da *Trigona spinipes*, o que demonstra a existência de um processo de aprendizagem na manipulação das estruturas florais por parte dessas espécies.

Contudo, mesmo ambas não apresentando o comportamento vibratório, apresentaram formas distintas de coletar o pólen. *A. mellifera* apresentou um comportamento mais elaborado ao manipular os verticilos florais se comparada com *T. spinipes*, que apenas introduzia a glossa no poro da antera. A ação de “empurrar” as anteras com a cabeça para movimentá-las e agitá-las pode representar uma complexidade maior na aprendizagem da manipulação de anteras poricidas, indicando que tal ação pode ter resultado, ao longo do tempo, em uma maior liberação de pólen do que apenas a ação de retirá-lo introduzindo a glossa no poro da antera.

Comportamento semelhante foi observado por Patrício et al. (2012) em cultivo de *S. melongena* localizado em Corumbataí, São Paulo, onde *A. mellifera*, além de coletar grãos de pólen caídos na corola da flor, também foi observada

vibrando-as e conseguindo retirar o pólen em pleno voo. Giurfa (2003) sugere que as abelhas, especialmente as pertencentes à espécie *Apis mellifera*, possuem sistemas nervoso e sensorial muito eficientes, o que lhes confere alto sucesso adaptativo. Em *A. mellifera*, algumas mudanças no volume cerebral demonstram a existência de uma forte correlação com mudanças no comportamento e com a idade, uma vez que as experiências vividas podem resultar em uma mudança no número, tamanho e complexidade das sinapses cerebrais (GIURFA, 2003).

Imperatriz-Fonseca, Ramalho e Kleinerl-Giovannini (1993) apontam que existe uma gama de espécies de abelhas capazes de obter com facilidade e rapidez o alimento em flores com estruturas mais elaboradas, nas quais os recursos geralmente são de difícil acesso. Entretanto, há ainda algumas espécies, especialmente as sociais da família Apidae, que têm a capacidade de aprender a manipular peças florais, tornando-se coletoras eficientes.

Referente aos horários do dia com maior atividade dos visitantes, entre 8h e 11h da manhã, período em que as temperaturas começam a se elevar, Buchmann e Hurley (1978) indicam que isso pode ocorrer devido ao comportamento de vibração de algumas abelhas, o qual está relacionado com a termorregulação corporal e que, dessa maneira, esse modo de coletar pólen pode ser mais efetivamente desenvolvido nas horas mais quentes do dia. A receptividade do estigma se dá logo nos primeiros momentos da antese (por volta das 6h da manhã), indicando que a alta frequência de visitação nesses horários pode representar um fator importante no sucesso da polinização.

O comportamento de vibração, a rápida atuação no momento de forrageio e o grande tamanho corpóreo de *X. frontalis*, *B. morio* e *O. flavescens*, denominadas popularmente como mamangavas, indicam que as mesmas podem ser consideradas espécies essenciais para o desenvolvimento de *S. melongena*. Além disso, a pilosidade presente na região ventral do corpo e nas escopas dessas espécies auxilia na aderência dos grãos de pólen e, uma vez que as mesmas abordam a flor de forma a contatar as estruturas reprodutivas com essa região, podem ser consideradas polinizadores largamente eficientes, apresentando uma

maior chance de realizar a transferência de uma grande quantidade de pólen entre as flores em apenas uma única visita.

*Exomalopsis diminuta* foi a terceira espécie de abelha mais frequente e apresenta potencial para ser um polinizador chave de *S. melongena*, uma vez que apresenta comportamento vibratório. No entanto, mesmo apresentando tal comportamento, possui um tempo de visitação mais longo em detrimento das abelhas de grande porte e sua atuação no momento de forrageio pode indicar a necessidade de um número maior de visitas para garantir a deposição da quantidade de pólen necessária para fecundar os inúmeros óvulos de *S. melongena*. Em suas visitas também pode ocorrer desperdício de uma parte do pólen, pois ao vibrar uma antera por vez, toda a flor é vibrada, o que acarreta na liberação de pólen por outras anteras, o qual pode não ser coletado.

Em um levantamento realizado em Ribeirão Preto, São Paulo sobre a diversidade de polinizadores em *S. melongena*, abelhas do gênero *Exomalopsis* representaram cerca de 30% do total dos visitantes florais observados, sendo consideradas polinizadores efetivos da cultura (MONTEMOR; MALERBO-SOUZA, 2009). Anais e Torregrossa (1978) também constataram que essas abelhas foram responsáveis pela polinização de *S. melongena* em Guadalupe, México.

Pode-se inferir que a vegetação presente nos arredores da plantação contribuiu efetivamente para a riqueza de polinizadores encontrada nesta área, visto que, além de fornecer outros recursos, como néctar e resinas, também proporcionou locais para nidificação e reprodução de determinadas espécies. Abelhas de grande porte, por exemplo, como *X. frontalis* e *O. flavescens* costumam geralmente nidificar em tocos de árvores, construindo galerias através de escavação e, por este motivo, são também chamadas de “carpenter bees” (abelha carpinteira); *B. morio* costuma nidificar em cavidades pré-existentes, como ninhos abandonados de roedores ou sob moitas (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

Essas espécies, que geralmente possuem hábito solitário, costumam forragear em locais próximos a seus ninhos (STEFFAN-DWENTER et al, 2002),

fato que reafirma a importância da disponibilidade de substratos e vegetação nos arredores da plantação para nidificação de polinizadores chave para o desenvolvimento de *S. melongena*. Segundo Pinheiro e Freitas (2010), as áreas que possuem vegetação nativa apresentam geralmente um grande número de espécies vegetais que servem como fonte de néctar e pólen para polinizadores, através de florescimento contínuo ao longo do ano, sendo utilizadas também para nidificação, descanso e reprodução.

A maior frequência de *A. mellifera* também foi observada em outro cultivo de *S. melongena* (PATRÍCIO et al., 2012), a qual pode ocorrer devido ao hábito generalista da espécie e também por, muitas vezes, existirem apicultores em propriedades vizinhas às plantações. Outro fator que pode influenciar nessa maior frequência é o fato de que abelhas desse gênero costumarem forragear em locais mais distantes do ninho, aumentando consideravelmente seu raio de forrageamento (ZURBUCHEN et al., 2010).

Pedro e Camargo (1991) apontam que, apesar da abelha africanizada possuir uma maior capacidade de forrageio e compartilhar mais flores que as nativas, as plantas visitadas pela primeira diferem razoavelmente daquelas visitadas por abelhas solitárias e especializadas. Quanto às vantagens e desvantagens dessa competição, Minussi e Alves-dos-Santos (2007) apontam que algumas espécies nativas, como as do gênero *Trigona*, não demonstram inibição na presença da *A. mellifera* e chegam mesmo a atacar a invasora.

No entanto, essa atividade realizada por indivíduos de *Trigona* depende tempo e gasto de energia para agredir e expulsar cada abelha invasora das flores, gasto este que além de apresentar chances de ser muito alto, devido ao grande número de *A. mellifera* no local e à sua intensidade de visitação, tamb em provavelmente não estaria computado anteriormente nas viagens de forrageamento das espécies nativas, o que pode acarretar prejuízos para as mesmas, principalmente no que diz respeito   coleta de recursos e preenchimento de novas células (MINUSSI; ALVES-DOS-SANTOS, 2007).

Garibaldi (2013), verificando a eficiência das abelhas nativas e da espécie exótica *A. mellifera*, detectou que houve um aumento significativo no

vingamento e fixação de frutos de muitas culturas agrícolas quando as flores foram polinizadas por espécies nativas, mesmo que a espécie exótica fosse capaz de depositar uma grande quantidade de grãos de pólen. Isso ocorre devido à qualidade da polinização realizada por espécies nativas, ou seja, devido ao comportamento apresentado por tais espécies, que proporcionam uma distribuição efetiva do pólen no estigma, assim como auxiliam em uma maior taxa de polinização cruzada, uma vez que costumam visitar flores de muitos indivíduos que se distanciam entre si.

Por outro lado, como se encontram largamente distribuídas, as abelhas africanizadas passaram a desempenhar um importante papel nas redes de interações entre plantas e visitantes florais. Sobre isso, Pigozzo e Viana (2010) revelam que em muitos estudos sobre essas redes constatou-se que a *A. mellifera* é largamente relacionada à polinização de espécies vegetais nativas e cultivadas e até mesmo de espécies exóticas, fato que reafirma a importância das mesmas como vetores de polinização, uma vez que já suprem a necessidade de reprodução de muitas plantas que estão sendo prejudicadas pelo alto declínio de polinizadores no mundo todo.

O visitante floral da família Syrphidae, com frequência muito baixa neste estudo, não pode ser considerado um polinizador chave de *S. melongena*, pois também não apresenta comportamento vibratório. Em um levantamento realizado no Cinturão Verde (RS) acerca das preferências florais de uma comunidade de Syrphidae, constatou-se que a família Asteraceae recebeu o maior número de visitas, enquanto Solanaceae representou apenas cerca de 4% do total das visitas (MORALES E KÖHLER, 2008).

## **4.2 Eficácia de polinizadores**

Os resultados obtidos indicam diferentes potenciais na eficácia da polinização realizada pelas espécies *Apis mellifera* e *Exomalopsis diminuta*. Embora a primeira tenha sido a abelha mais frequente e consiga promover a polinização de *S. melongena* e posterior formação de frutos, quando se examina as características exigidas pelo mercado de hortaliças, os frutos formados pela

mesma, com apenas uma visita, não alcançam tais atributos. Se comparados com os frutos formados com uma visita de *E. diminuta*, são menores, com peso inferior e coloração irregular. Segundo os produtores das áreas estudadas, um fruto bom para a venda precisa ser longo (com aproximadamente 20 cm), com formato abalado e coloração vinho escura, sem manchas.

Levando-se em conta que grande parte das espécies de mamangavas costumam nidificar e reproduzir-se entre os meses de dezembro e abril (JUNQUEIRA et al, 2001), época com temperaturas mais elevadas, pode-se inferir que *A. mellifera*, mesmo não sendo o polinizador mais eficaz, possa contribuir de forma a complementar a polinização realizada por outras espécies de abelhas em outros meses, uma vez que a mesma possui alta frequência durante todo o ano (SANTOS; CARVALHO; SILVA, 2004) e *S. melongena* continua produzindo flores ao longo de um ano inteiro.

Levin (1987), analisando a produção de frutos de *S. melongena* em cultivares expostos ou não a *A. mellifera*, constatou que, em alguns deles, a presença da espécie resultou em um aumento da quantidade de frutos formados, com médias de 5,6 e 6,2 frutos por indivíduo, sem e com a presença das abelhas, respectivamente. O autor também observou um aumento de aproximadamente 160% no peso desses frutos. No presente trabalho, não foi possível a realização de um teste com números maiores de visitas de *A. mellifera*, devido às limitações de campo. Assim sugere-se que trabalhos sejam realizados com mais repetições.

*E. diminuta*, mesmo apresentando um tamanho corpóreo menor do que de *Xylocopa frontalis*, *Oxaea flavescens* e *Bombus morio*, demonstrou ser um polinizador eficaz de *S. melongena*, uma vez que com apenas uma única visita conseguiu distribuir o pólen de maneira efetiva no estigma, contribuindo para a fecundação de grande parte dos óvulos e posterior formação do fruto. Nunes-Silva, Hrcir e Imperatriz-Fonseca (2010) apontam que, ainda que haja a necessidade de mais estudos comparativos, é possível afirmar que abelhas menores sejam tão eficazes em vibrar as flores quanto às de grande porte. Dessa forma, a eficácia do polinizador pode estar relacionada com outras características

do forrageamento, como a frequência, que para *E. diminuta* foi elevada, o que contribui ainda mais para seu bom desempenho.

As características de frutos formados a partir da polinização em condições naturais indicam a importância da diversidade de diferentes espécies de polinizadores, com comportamentos e eficácias distintas, que podem, em sua complementaridade, serem essenciais para a formação dos frutos. Em um estudo sobre a influência da diversidade funcional de polinizadores na qualidade dos frutos em cultivo de maçã (*Malus domestica* Borkh) realizado no Canadá, constatou-se que a associação entre espécies de abelhas com comportamentos diferentes resultou em um maior sucesso da polinização (MARTINS; GONZALES; LECHOWICZ, 2014).

Blüthgen e Klein (2011) apontam que um conjunto de espécies de abelhas pode ser classificado pelas características funcionais específicas, que por sua vez podem facilitar os serviços de polinização em menor ou maior grau. Diferentes espécies de abelhas, por exemplo, podem variar o número de flores visitadas por unidade de tempo e na eficácia em depositar os grãos de pólen no estigma, assim como podem sofrer distintas restrições fisiológicas que podem limitar sua atividade.

A correlação positiva existente entre o tempo de permanência na flor com o peso e número de sementes formadas, indica que, para *S. melongena*, tanto o comportamento de seus polinizadores, quanto o tempo em que os mesmos permanecem na flor, são importantes para um desenvolvimento efetivo do fruto. Considerando que *A. mellifera* apresentou uma forte correlação positiva entre o tempo de suas visitas e o peso dos frutos ( $r= 0,64$ ), pode-se considerar que, para as espécies que não vibram, faz-se necessário um tempo maior de permanência na flor e também a realização de mais visitas para que ocorra um desenvolvimento efetivo do fruto.

De acordo com Free (1993), quanto maior for o tempo de permanência do agente polinizador na flor, maiores serão as chances de transferência de grãos de pólen viáveis, compatíveis e em quantidades satisfatórias para o vingamento do fruto de uma determinada espécie vegetal.

## 5. CONCLUSÃO

Podemos concluir que existe uma gama de espécies de visitantes florais que exercem papel de polinizadores em *Solanum melongena*, porém as mesmas apresentam níveis de eficácia distintos na formação do fruto, devido ao comportamento específico de cada uma. *Exomalopsis diminuta* apresentou maior eficácia do que *Apis mellifera* na realização de apenas uma visita à flor, indicando que o comportamento vibratório é importante para a polinização desta cultura. Sugere-se a realização de estudos compreendendo maior número de visitas para cada abelha, de forma a identificar o nível de eficácia de outras espécies.

## 6. REFERÊNCIAS

- AIZEN, M. A.; GARIBALDI, L. A.; CUNNINGHAM, S. A.; KLEIN, A. L. 2009. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. **Annals of Botany** 103, 1579-1588.
- ALLEN-WARDELL, G., BERNHARDT, P. E BITNER, R. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. **Conservation Biology** 12: 8-17
- ANAIS G. E TORREGROSSA, J. P. 1978. Possible use of *Exomalopsis* species in pollination of solanaceous vegetable crops in Guadeloupe (French Antilles). **Proc. International Symposium on Pollination** 321-329.
- BLÜTHGEN, N. E KLEIN, A. M. 2011. Functional complementarity and specialization: the role of biodiversity in plant-pollinator interaction. **Basic and Applied Ecology** 12 (4): 282-291.
- BUCHMANN, S. L. E HURLEY, J. P. 1978. A biophysical model for buzz pollination in Angiosperms. **J. Theor. Biol.**, 72: 639-657.

BUCHMANN, S. L.; JONES, C. E.; COLIN, L. J. 1977. Vibratile pollination of *Solanum douglasii* and *Solanum xantii* (Solanaceae) in Southern California. **The Wasman Journal Biology**, 25 (1).

CANDIDO, L. W. E ZAINE, J. E. 2005. Identificação e mapeamento de cavas e pilhas de bota-fora de mineração como unidade geológico-geotécnica no município de Estiva Gerbi - SP, Brasil. **Revista Geociências-UnG**, 4(1), 35-44.

DE LUCA, P. A. E VALLEJO-MARÍN, M. 2013. What's the "buzz" about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. **Current Opinion in Plant Biology** 16: 429-435.

FREE, J. B. 1993. **Insect pollination of crops**. 2. ed. London: Academic Press. 684 p.

FREITAS, B. M. E IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2005. A importância econômica da polinização. **Mensagem Doce**, (80).

FREITAS, B. M. E NUNES-SILVA, P. 2012. **Polinização Agrícola e sua Importância no Brasil**. In Imperatriz-Fonseca, V. L. et al. Polinizadores no Brasil. Edusp: São Paulo. p. 103-118.

FREITAS, L. 2013. Concepts of pollinator performance: is a simple approach necessary to achieve a standardized terminology? **Brazilian Journal of Botany** 36, 3-8.

GARIBALDI, L. A., et al. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**, 339, 1608-1611.

GIURFA, M. 2003. Cognitive neuroethology: dissecting non-elemental learning in a honeybee brain. **Curr Opin Neurobiol.** 13: 726-735.

IBGE, 2014. **Intituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>> Acesso em 14 jan. 2014.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; RAMALHO, M.; KLEINERL-GIOVANNINI, A. 1993. **Abelhas sociais e flores – análise polínica como método de estudo.** In: PIRANI, J. R. e CORTOPASSI-LAURINO M. (Org) Flores e Abelhas em São Paulo. São Paulo: Edusp. p. 17-30.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; GONÇALVES, L. 2007. A iniciativa brasileira de polinizadores e os avanços para a compreensão do papel dos polinizadores como produtores de serviços ambientais. **Biosci. J.**, 23 (1) 100-106.

JUNQUEIRA, N. T. V.; VERAS, M. C. M.; NASCIMENTO, A. C. do; CHAVES, R. C.; MATOS, A. P.; JUNQUEIRA, K. P. 2001. **A importância da polinização manual para aumentar a produtividade do maracujazeiro.** Planaltina: Embrapa Cerrados. 18p.

KEVAN, P. G. E PHILLIPS, T. P. 2001. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. **Conservation Ecology**, (5) 1: 8.

KLEIN, A. M., VAISSIERE, B. E., CANE J. H., STEFFAN-DEWENTER I., CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C., TSCHARNTKE, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society** 274 (1608): 303–313.

LEVIN M. D. 1987. Honey bee pollination of eggplant (*Solanum melongena* L.). **International Agricultural Congress**, 344-348.

MALAGODI-BRAGA, K. S.; KLEINERT, A. de M. P. 2007. Como o comportamento das abelhas na flor do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne) influencia a formação dos frutos? **Bioscience Journal**, 23: 76-81.

MARTINS, K. T.; GONZALES, A.; LECHOWICZ, M. J. 2014. Pollination services are mediate by bee functional diversity and landscape context. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 200 (2015): 12-20.

MICHENER, C. D. **The bees of the World**. 2000. Baltimore: John Hopkins, 913 p.

MINUSSI, L. C. E ALVES-DOS-SANTOS, I. 2007. Abelhas nativas versus *Apis mellifera* Linnaeus, espécie exótica (Hymenoptera: Apidae). **Bioscience Journal** 23 (1): 58-62.

MONTEMOR, K. A. E MALERBO-SOUZA, D. T. M. 2009. Biodiversidade de polinizadores e biologia floral em cultura de berinjela (*Solanum melongena*). **Zootecnia Tropical**, 27 (1) 97-103.

MORALES, M. N. E KÖHLER, A. 2008. Comunidade de Syrphidae (Diptera): diversidade e preferências florais no Cinturão Verde (Santa Cruz do Sul, RS, Brasil). **Revista Brasileira de Entomologia** 52 (1): 41-49.

NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2010. A polinização por vibração. **Oecologia Australis** 14 (1): 140-151.

PATRICIO, G. B.; GRISOLIA, B. B.; DESUÓ, I. C.; MONTAGNANA, P. C.; BROCANELLI, F. G.; GOMIG, E. G.; CAMPOS, M. J. O. 2012. The importance of bees for eggplant cultivations (Hymenoptera: Apidae, Andrenidae, Halictidae). **Sociobiology** 59 (3): 1037-1052.

PEDRO, S. R. M. E CAMARGO, J. M. F. 1991. Interactions on floral resources between the Africanized honey bee *Apis mellifera* L. and the native bee community (Hymenoptera: Apoidea) in a natural cerrado ecosystem in southeast Brazil. **Apidologie** 22: 397-415.

PIGOZZO, C. M. E VIANA, B. F. 2010. Estrutura da rede de interações entre flores e abelhas em ambiente de Caatinga. **Oecologia Australis** 14:10-114.

PINHEIRO, J. N.; FREITAS, B. M. 2010. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis** 14 (1): 266-281.

SANTOS, F. M. dos; CARVALHO, C. A. L. de; SILVA, R. F. 2004. Diversidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em uma área de transição Cerrado-Amazônia. **Acta Amaz.** 34 (2).

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, 2013. **Cati – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral**. Disponível em: <<http://www.agricultura.sp.gov.br>> Acesso em 14 jan. 2014.

SETZER, J. 1976. **Atlas climático do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 98p.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. 2002. **Abelhas brasileiras- Sistemática e Identificação**. Belo Horizonte: Fernando A. Silveira, 254p.

SPEARS, E. E. 1983. A direct measure of pollinator effectiveness. **Oecologia** 57: 196-199.

STEFFAN-DEWENTER, I.; MÜNZENBERG, U.; BÜRGER, C.; THIES, C.; TSCHARNTKE, T. 2002. Scale dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. **Ecology** 15: 1421-1432.

WOODCOCK, T. S. 2012. **Pollination in the agricultural landscape – Best management practices for crop pollination**. Canada: University of Guelph, 113p.

ZURBUCHEN, A.; LANDERT, L.; KLAIBER, J.; MÜLLER, A.; HEIN, S.; DORN, S. 2010. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. **Biological Conservation** 143: 669-676.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se em *Solanum melongena* que sua morfologia floral exerce grande influência em seu sistema sexual e na riqueza e comportamento de seus visitantes florais, uma vez que a maioria das espécies observadas apresentou o comportamento vibratório. Quanto aos polinizadores da cultura, pode-se concluir que existem várias espécies de visitantes florais que exercem esse papel, porém as mesmas podem apresentar níveis de eficácia distintos na formação do fruto, devido ao comportamento específico de cada espécie. Referente à frequência dos polinizadores, conclui-se que suas visitas possuem grandes chances de contribuir para uma polinização efetiva, uma vez que existe um sincronismo entre as mesmas, a produção de pólen e o período de maior viabilidade polínica.

## REFERÊNCIAS

ABAK K., OZDOGAN A. O., DASGAN H. Y., DERIN K., KAFTANOGLU O. 2000. Effectiveness of bumble bees as pollinators for eggplants grown in unheated greenhouses. **Acta Horticulturae** 514:197-203.

AIZEN, M. A.; GARIBALDI, L. A.; CUNNINGHAM, S. A.; KLEIN, A. L. 2009. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. **Annals of Botany** 103, 1579-1588.

ANTONINI, A. C. C.; ROBLES, W. G. R.; TESSARIOLI NETO, J.; KLUGE, R. A. 2002. Capacidade produtiva de cultivares de berinjela. **Horticultura Brasileira**, 20 (4) 646-648.

BUCHMANN, S. L.; JONES, C. E.; COLIN, L. J. 1977. Vibratile pollination of *Solanum douglasii* and *Solanum xantii* (Solanaceae) in Southern California. **The Wasman Journal Biology**, 25 (1).

D'ÁVILA, M.; MARCHINI, L. C. 2005. Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil. **Boletim da indústria animal**, 62 (1), 79-90.

FREITAS, B. M. **Polinização por abelhas na agricultura brasileira: empecilhos e perspectivas**. 2010. In: Abelhas, agronegócios e meio ambiente, 10º Congresso Íberolatino americano de apicultura, Natal.

FREITAS, B. M. E IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2005. A importância econômica da polinização. **Mensagem Doce**, (80).

FREITAS, B. M. E NUNES-SILVA, P. 2012. **Polinização Agrícola e sua Importância no Brasil**. In Imperatriz-Fonseca, V. L. et al. Polinizadores no Brasil. Edusp: São Paulo. p. 103-118.

GALLAI, N.; SALLES, J.; SETTELE, J.; VAISSIÈRE, B. E. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, 68: 810-821.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2010. **Polinização: os desafios de um Brasil biodiverso para o uso dos serviços ambientais prestados pelas abelhas**. In: Segunda Semana de Polinizadores, Petrolina: Embrapa Semiárido.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; GONÇALVES, L. 2007. A iniciativa brasileira de polinizadores e os avanços para a compreensão do papel dos polinizadores como produtores de serviços ambientais. **Biosci. J.**, 23 (1) 100-106.

KEVAN, P. G. E PHILLIPS, T. P. 2001. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. **Conservation Ecology**, (5) 1: 8.

MONTEMOR, K. A. E SOUZA, D. T. M. 2009. Biodiversidade de polinizadores e biologia floral em cultura de berinjela (*Solanum melongena*). **Zootecnia Tropical**, 27 (1) 97-103.

NASCIMENTO, W. M.; TORRES, A. C.; LIMA, L. B. 2003. Pollen viability in hybrid seed production of eggplant under tropical conditions. **Acta Horticulturae**, 607:37-39.

STEHMANN, J.R., MENTZ, L. A., AGRA, M. F., VIGNOLI-SILVA, M., GIACOMIN, L. 2010. **Solanaceae**. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil.

Jardim Botânico do Rio de Janeiro.<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB000225>>. Acesso em 25 de julho de 2013.

WRATTEN, S. D.; GILLESPIE, M.; DECOURTYE, A.; MADER, E; DESNEUX, N. 2012. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 159, 112-122.