

**A INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DOS HABITATS SOBRE OS
POLINIZADORES DE BERINJELA E A PRODUTIVIDADE DOS CULTIVOS**

GLEICIANI BÜRGER PATRICIO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. MARIA JOSÉ DE OLIVEIRA CAMPOS

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio
Claro, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor
em Ciências Biológicas (Área de
Concentração: Zoologia).

**Rio Claro
Estado de São Paulo – Brasil
Maio – 2013**

595.799 Patricio, Gleiciani Bürger

P314i A influência da qualidade dos habitats sobre os
polinizadores de berinjela e a produtividade dos cultivos /
Gleiciani Bürger Patricio. - Rio Claro, 2013

116 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Maria José de Oliveira Campos

1. Abelha. 2. Polinização. 3. Paisagem. 4. Conservação. I.
Título.

Dizem que ser avô é ser pai duas vezes...

*Dedico ao meu avô Romeu (in memoriam),
cujo maior sonho era ter um filho Doutor “de
verdade”.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/ Rio Claro, junto ao PPGCB – Zoologia. Agradeço também à CAPES, pelo apoio financeiro concedido durante a realização deste trabalho.

Considero minha Tese, um produto resultado de um trabalho coletivo, no qual muitas pessoas, a quem sou muito grata participaram, e sem elas, meu doutorado não seria possível:

Minha orientadora, Zezé, pela confiança, pelos ensinamentos, pela paciência comigo e principalmente pela amizade que nasceu desde o mestrado.

Aos geecas, Paula, Siri, Socó, Dani e Zhu pela amizade, companhia no laboratório e por toda ajuda em campo. Sem vocês, seria impossível realizar a parte experimental e de coletas do meu doutorado. Agradeço em especial ao Siri e a Paula, pela amizade e pelos ombros, onde muitas vezes chorei minhas preocupações.

Aos técnicos do departamento de Ecologia; Sean e Carlinhos pela ajuda e diversão em campo, Sueli e Bete e também à secretária Cristina, pela constante disposição em me ajudar.

À equipe da Seção de Pós-Graduação, em especial à Rose, Rute e Vanessa, pela disposição e esforço enorme em tentar resolver nossos problemas, além da paciência com todos os alunos! Agradeço também o apoio no período em que fui representante discente.

Ao Bruno Borges (Gambé) por me socorrer com as análises da paisagem, muito obrigada.

Ao Gui Gomes, pela imensa ajuda com a estatística, pela pessoa maravilhosa, pelo exemplo de profissional e amizade. À você, minha imensa gratidão.

Aos proprietários das áreas estudadas, S. Vanderlei Canhone, diretoria da Apae e Seu Josué e D. Antônia pela permissão em realizar minhas pesquisas nos cultivos de berinjela e principalmente pelo tratamento recebido.

Aos professores Marcos Pizano, pelo auxílio com o plantio de um cultivo e ao Miltinho pelo auxílio nas análises da paisagem.

À Dra. Sílvia Pedro, pelo auxílio na identificação de algumas abelhas.

Meus agradecimentos especiais ao professor Beto, pelos estágio de docência, pelos conselhos e principalmente pela amizade. À professora Sulene pela oportunidade de trabalhar na parceria UNESP – TBG, quando estava sem bolsa, antes de ingressar no doutorado e principalmente pela grande amizade que nasceu após essa etapa.

À equipe do Da Vinci – Colégio Bilíngue, onde leciono Ciências para o Ensino Fundamental. Agradeço o apoio que temos enquanto professores, raro de se encontrar hoje em dia. Agradeço o apoio e incentivo à minha formação acadêmica. Meus agradecimentos às diretoras Kelli, Ketilli e Karen pela oportunidade e pela confiança em meu trabalho. Agradeço à coordenadora Ana Paula, pelo exemplo de profissional e mãe e pelos seus ensinamentos. À Sandrinha, pelos ótimos conselhos, pelos ensinamentos profissionais e pessoais. À secretária Ana, pelos “bons dias” sempre alegres, À D. Terezinha e ao seu Zé, sempre muito simpáticos. Muito obrigada todos os funcionários e professores, pela troca de conhecimento e pelo companheirismo, principalmente quando precisei me ausentar. Conquistei verdadeiros amigos nessa instituição que posso chamar de família “Da Vinci”.

Não existem palavras que expressem minha gratidão aos meus pais, lêda e Benedito, que sempre me apoiaram e fizeram de tudo para que meus sonhos fossem realizados – minha tese é mais um deles. Agradeço principalmente por serem meu porto seguro, por estarem presentes em minha vida nos momentos mais importantes, felizes ou não. Digo com muito orgulho que tenho os melhores pais do mundo. Agradeço também meu irmão e minha cunhadinha Fabí, pela amizade e companheirismo.

Agradeço também a toda a família Patricio, em especial minha Vó Diva, pela força que tem, e meu tio Celso e tia Néia, pelo apoio e companheirismo.

Rezo todas as noites, para agradecer, por ter tido o prazer e o orgulho de ser neta da Vó Landa (*in memoriam*) e do Vô João (*in memoriam*), exemplos de vida, corações puros, que deixaram o maior tesouro que alguém poderia receber de herança; o bom caráter e a honestidade. Foram perdas inestimáveis durante o período do meu doutorado. “Saudades é amor que fica, e quando não cabe no peito, transborda em lágrimas”...

Agradeço meu marido Matheus, pela ajuda em campo, pelo companheirismo, pela amizade, pela formatação desta Tese e principalmente pela paciência. Amo

muito você! Agradeço à minha cachorrinha Nina, que trouxe de volta a felicidade de se ter um pet em casa! Ela foi muito importante nos momentos pessoais e complicados e sempre me trazia a felicidade de um amor verdadeiro.

Sou muito grata à minha nova família, à sogrinha Arlete e ao sogrinho Chico, que me acolheram em sua casa como sua filha. Agradeço a companhia e as risadas que meus novos irmãos me proporcionam, Danilo, Jacq e Mariana.

Agradeço à Deus pelos amigos que tenho, minha segunda família, Gábi, Marcela e Chal, Nádia e Rafa, pela amizade, companheirismo, confidencialidade e pelos campos divertidíssimos. Agradeço também ao casal da cantina Rogério e Vanessa, pela amizade que nasceu depois de anos de cantina!

Enfim, Agradeço a Deus, acima de tudo, principalmente por me confortar e encorajar nos momentos difíceis, quando pensei em desistir.

"Escolha uma profissão que você goste e nunca mais terá que trabalhar na sua vida".
(Confúcio)

"Se as abelhas desaparecessem da face da terra, a humanidade teria apenas mais quatro anos de existência. Sem abelhas não haveria polinização, não haveria reprodução da flora. Sem flora não haveria animais. Sem animais não haveria raça humana"
(Albert Einstein)

RESUMO

A ocorrência de várias espécies de polinizadores, o tamanho de suas populações, suas interações tróficas, assim como a estrutura e a dinâmica das comunidades, são determinadas por processos que ocorrem em diferentes escalas espaciais. As transformações na paisagem e as alterações bióticas e abióticas em áreas fragmentadas podem resultar no desaparecimento de espécies de abelhas, além de consequências irreversíveis para outras espécies. Vários autores relatam uma forte relação entre a produtividade de diferentes cultivos e a presença nas proximidades de fragmentos de vegetação nativa. Estudos desenvolvidos em áreas agrícolas possibilitam a avaliação dos efeitos de diferentes práticas de cultivo sobre a abundância e a riqueza de espécies de polinizadores, além de fornecerem respostas a questões ainda não abordadas. Esses estudos podem ainda, fornecer dados que reforcem a necessidade da conservação de diferentes espécies de plantas e animais, além de oferecerem subsídios para a proposição de planos de manejo assim como informações indispensáveis para execução de políticas públicas e privadas, voltadas para a conservação da biodiversidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar (i) a dependência de *Solanum melongena* L. (Fam. Solanaceae) em relação a polinizadores e (ii) a influência da paisagem sobre a diversidade de abelhas e indiretamente sobre a produtividade dos cultivos. A pesquisa foi realizada em quatro áreas, duas de cultivo orgânico e duas de cultivo convencional. Em cada área foram realizados testes de polinização controlados para avaliar a dependência das visitas de abelhas para a formação de frutos de berinjela. A quantidade e a qualidade dos frutos formados foram os parâmetros adotados para a avaliação da produtividade dos cultivos estudados. Posteriormente, foi realizado um levantamento de abelhas nos cultivos e na vegetação ruderal que crescia nas áreas de estudo, durante o pico de florescimento da berinjela. As áreas selecionadas foram caracterizadas quanto ao uso e cobertura dos solos e a qualidade dos habitats foi avaliada por meio de análises da paisagem, considerando elementos importantes para a conservação de abelhas, como, por exemplo, número, e porcentagem de fragmentos de vegetação nativa, presença de habitats secundários, presença de outros cultivos, etc. Os resultados mostraram que a berinjela é altamente dependente de abelhas polinizadoras para a formação de frutos. A configuração paisagem e o manejo da área foram fatores importantes para a presença de abelhas nas áreas cultivadas. Os resultados mostraram ainda que a diversidade da paisagem está positivamente relacionada com o número de espécies de abelhas nas áreas cultivadas. A presença de vegetação nativa, associada ao manejo, na escala de 500 m também se mostraram fatores importantes para as abelhas. Esse estudo procurou abordar de maneira integrada o maior número possível de parâmetros que interferem nos hábitos de vida dos polinizadores, tais quais a configuração da paisagem e o manejo das áreas cultivadas. No entanto, no Brasil, ainda são necessárias pesquisas que abordem esses parâmetros separadamente para diferentes espécies cultivadas, para no futuro poderem ser utilizados em planos de manejo e políticas públicas, voltados para a conservação de polinizadores e ao mesmo tempo, garantir a otimização da produtividade de diferentes espécies cultivadas.

Palavras-chave: *S. melongena*, abelhas, polinização, paisagem, manejo, conservação.

Abstract

Processes that occur at different spatial scales determine the occurrence of several species of pollinators, the size of their populations, their trophic interactions, as well as the structure and dynamics of communities. Changes in the landscape and in the biotic and abiotic conditions in fragmented areas may result in the disappearance of bee species, and irreversible consequences for others species. Many authors have reported a strong relationship between productivity of different crops and the presence of fragments of native vegetation nearby. Studies carried out in agricultural areas enable the assessment of the effects of different cultivation practices on the abundance and species richness of pollinators, and provide answers to questions not yet addressed. These studies may also provide data that support the need for conservation of different species of plants and animals, and provide subsidies for management plans proposition as well as information necessary for execution of public and private policies, aimed at biodiversity conservation. The aims of this study were to investigate (i) how dependent *Solanum melongena* L. is on bees for fruit production and (ii) the influence of landscape on bee diversity and productivity of crops. The research was conducted in four areas, two organic and two conventional crops. Bee samplings were performed during the crop flowering peak, both in eggplant and ruderal vegetation's flowers. Pollination tests were carried out in order to evaluate the importance of bees for fruit setting in *S. melongena* L. The selected areas were characterized by satellite images, which were mapped on the use and land cover. The quality of habitats was assessed by analysis of the landscape. We evaluated important landscape elements for the conservation of bees, such as number and percentage of native vegetation fragments, secondary habitats, other cultivated species, etc. The results showed that eggplant is highly dependent on pollinating bees for fruit set. The selected areas were characterized by satellite images, which were mapped on the use and land cover. The quality of habitats was assessed by analysis of the landscape. We evaluated important landscape elements for bee's conservation, such as the number and percentage of fragments, secondary habitats, other crops, etc. The results showed that eggplant is highly dependent on pollinating bees for fruit set. Configuring and management of the landscape areas were strategic factors for the presence of bees in cultivated areas. The results showed yet that the landscape diversity is positively related to the number of bee species in the crops. The presence of native vegetation associated to management, in the scale of 500 m were also important factors to bees. This study intentioned of discussing, in an integrated way, all the parameters that affect the pollinators, the landscape configuration and management of cultivated areas. However, in Brazil, it's still necessary research to report these parameters separately and for different crop species. Thus, in the future these data can be used in management plans and public policies aimed at conservation of pollinators and at the same time ensuring the optimization of productivity of different crop species.

Keywords: *S. melongena*, bees, pollination, landscape, management, conservation.

Sumário

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
CAPÍTULO 1	4
1.1 Revisão da Literatura	5
1.1.1 O declínio dos polinizadores e as consequências para a agricultura	5
1.1.2 Os efeitos da fragmentação, isolamento, degradação e perda de habitats e a configuração das paisagens sobre os polinizadores.....	9
1.1.3 A importância da qualidade dos habitats sobre os polinizadores e os desafios para a conservação desse grupo.....	15
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
1.3.1 Escolha e características gerais da espécie alvo.....	19
1.3.2 Áreas estudadas e período de estudo	22
1.3.3 Influência da visita dos polinizadores sobre a formação de frutos dos cultivos	27
1.3.4 Caracterização da fauna apícola.....	31
1.3.5 Identificação e quantificação de elementos importantes para a permanência de polinizadores nas áreas de estudo.....	32
REFERÊNCIAS.....	34
CAPÍTULO 2	47
INTRODUCTION.....	48
MATERIAL AND METHODS.....	50
Study areas	50
Sampling of bees.....	50
Pollination Tests	51
Data analysis	51
RESULTS.....	52
Sampling of bees.....	52
Pollination Tests	52
DISCUSSION	55
CONCLUSION	59
ACKNOWLEDGMENTS.....	59
REFERENCES	59
CAPÍTULO 3	64
RESUMO.....	65
3.1 INTRODUÇÃO	66
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	70
3.2.1 Áreas estudadas e período de estudo	70
3.2.2 Escolha da espécie cultivada	71
3.2.3 Caracterização da fauna de abelhas.....	72
3.2.4 Identificação e quantificação de elementos importantes para a permanência de polinizadores nas quatro áreas de estudo	73
3.2.5 Análises estatísticas	74
3.3 RESULTADOS.....	74
3.3.1 Caracterização da Fauna Apícola	74

3.3.2 Identificação e quantificação de elementos importantes para a permanência de polinizadores nas áreas de estudo.....	80
3.4 DISCUSSÃO	86
3.5 CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS.....	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
APÊNDICES	101

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Cerca de um quarto de todo alimento consumido pelo homem depende da polinização realizada por animais. Entre eles, as abelhas são consideradas os principais agentes polinizadores, pois desempenham papel fundamental para a reprodução de um grande número de espécies de plantas nativas e cultivadas. O sucesso do grupo, enquanto polinizador deve-se, particularmente, às adaptações morfológicas e comportamentais para o transporte e transferência de pólen.

A partir da década de 1990, a crise dos polinizadores ganhou destaque com a constatação da diminuição da produção de frutos e sementes de muitas espécies vegetais como consequência do desaparecimento de muitas espécies de abelhas dos campos de cultivos.

Os estudos desenvolvidos em áreas agrícolas possibilitaram a avaliação dos efeitos de diferentes práticas de cultivo sobre a abundância e a riqueza de espécies de polinizadores. Mais recentemente, entretanto, vem sendo desenvolvidas abordagens integradas, que associam a esses estudos, ferramentas que possibilitam análises sobre a configuração da paisagem, que possui elementos importantes para garantir a presença desses animais nas áreas cultivadas. Sabe-se, por exemplo, que para manter diferentes espécies de polinizadores nos campos de cultivo, é de extrema importância que a paisagem no entorno dos plantios apresente elementos essenciais para as espécies polinizadoras, tais quais fontes de pólen, néctar e óleo, além de sítios de nidificação variados.

Este trabalho procurou abordar de maneira completa e integrada, a maioria dos elementos que podem interferir na presença dos polinizadores e na produtividade em agroecossistemas. Para essa pesquisa, foi escolhido o cultivo de berinjelas (*Solanum melongena* L., Fam. Solanaceae). As flores dessa espécie apresentam anteras poricidas, que exigem polinizadores mais especialistas, os quais apresentam adaptações morfológicas e comportamentais para a retirada do pólen por meio de polinização por vibração (*Buzz Pollination*).

Esta Tese é apresentada em três capítulos, redigidos na forma de artigos.

O Capítulo 1 traz uma revisão bibliográfica acerca da importância dos polinizadores para as plantas nativas e cultivadas, além das consequências do declínio desse grupo para a produção de alimentos. Esse capítulo aborda também a influência da paisagem sobre os polinizadores e a produtividade dos cultivos agrícolas. Para isso, foram considerados estudos que abordaram os efeitos da fragmentação, isolamento, degradação e perda de habitats e a configuração das

paisagens sobre os polinizadores, além da importância da qualidade dos habitats e os desafios para a conservação desse grupo. Por fim, a metodologia geral utilizada nesta Tese, foi descrita de maneira detalhada.

O Capítulo 2 corresponde ao artigo “The Importance of Bees for Eggplant Cultivations (Hymenoptera: Apidae, Andrenidae, Halictidae)”, publicado na revista *Sociobiology*, em 2012. Este capítulo demonstrou experimentalmente a importância da visita de abelhas para a formação dos frutos de berinjelas e discutiu a importância do manejo das áreas cultivadas, além de outros fatores que podem influenciar a produtividade dos cultivos. Nele, também são apresentados dados parciais sobre as abelhas coletadas neste estudo e o comportamento observado nas flores de berinjela.

No capítulo 3 são abordadas as análises da paisagem, associadas ao número de espécies de abelhas e à produtividade dos cultivos de berinjelas. Esse capítulo procurou explicar as diferenças na qualidade dos frutos formados nas propriedades estudadas, bem como a diferença entre a riqueza das espécies presente em cada área de estudo. Foram avaliados alguns parâmetros da paisagem que podem interferir na presença dos polinizadores, tais como complexidade da paisagem, presença e isolamento de fragmentos, além de elementos secundários, como pastos apícolas e outras culturas.

As considerações finais deste estudo e algumas sugestões para a conservação do grupo de abelhas polinizadoras de berinjelas são apresentadas ao final desta Tese.

CAPÍTULO 1

Revisão da literatura e materiais e métodos

1.1 **R**evisão da Literatura

1.1.1 O declínio dos polinizadores e as consequências para a agricultura

Os polinizadores são um dos componentes-chave da biodiversidade mundial, são essenciais para os ecossistemas e garantem a manutenção de processos ecológicos, entre eles, a polinização, que é em grande parte, responsável pelo sucesso reprodutivo da maioria de plantas cultivadas e nativas (POTTS et al., 2010).

O grupo de polinizadores mais expressivo é representado pelos insetos, pois participam da polinização de um grande número de espécies de plantas (SCHOONHOVEN et al., 1998). As abelhas em particular, constituem o grupo mais especializado, pois apresentam adaptações morfológicas para coletar, manipular, transportar e armazenar o pólen de maneira eficiente (DANFORTH et al., 2006).

Além das adaptações morfológicas, as abelhas apresentam um comportamento de forrageamento que varia entre bastante generalista (espécies que visitam uma variedade de plantas em florescimento) a especialistas (abelhas que visitam uma ou poucas espécies vegetais) (WASER; OLLERTON, 2006). Esse tipo de comportamento torna esses insetos muito importantes, tanto do ponto de vista ecológico, como do ponto de vista econômico, considerando seu papel na produção agrícola.

Embora Paton et al. (2008) tenham relatado que não existem dados precisos sobre o grau de dependência de muitas espécies de plantas em relação a seus polinizadores, estima-se que de 67% a 96% das plantas do mundo todo, dependem de animais para o transporte de pólen (OLLERTON et al., 2011). Contabilizando apenas as espécies localizadas na zona temperada, a dependência de espécies da flora em relação a animais pode chegar a 78%. Já nas regiões tropicais, as plantas que dependem dos animais para a polinização podem somar até 94% (OLLERTON et al., 2011). No Brasil, somente os Meliponini, são responsáveis por cerca de 40% a 90% da polinização das árvores nativas (KERR et al., 1996).

Quando se trata de plantas cultivadas, os números com os quais se procura expressar a dependência dos cultivos em relação à polinização por animais são bastante variáveis. Ingram et al. (1996) estimaram que cerca de um quarto de todo o alimento consumido pelo homem depende, direta ou indiretamente, da polinização

por animais, e segundo Klein et al. (2007), cerca de 35 % das espécies cultivadas são polinizadas por esse grupo. Analisando apenas o continente Europeu, a porcentagem de espécies de plantas cultivadas, dependentes de polinização por animais, chega a 84% (WILLIAMS, 1994), ao passo que em cultivos localizados nas regiões tropicais, esse valor pode chegar a 70% das espécies (ROUBIK, 2005).

Quando se considera todo o conjunto de espécies vegetais, nativas e cultivadas, 25% apresentam dependência, em variados graus, de abelhas para a polinização (HEARD, 1999; RICHARDS, 2001). Entre alguns cultivos, o café, por exemplo, apresenta tanto variedades totalmente dependentes de abelhas para a formação de frutos, como é o caso de *Coffea canephora* L., como variedades auto compatíveis, que não dependem da visita de polinizadores para a frutificação, como por exemplo, *C. arabica* L. (KLEIN et al., 2003a). *Malpighia glabra* L. (GUEDES et al., 2011) e *Solanum melongena* L. (PATRICIO et al., 2012), entre muitas outras espécies cultivadas, podem formar frutos sem a visita de abelhas. No entanto, a maioria dos frutos formados por autopolinização e sem a visita desses insetos, são bem menores e não ultrapassa, em média, 10% da quantidade de flores, o que torna os cultivos, nessas condições, inviáveis comercialmente (GUEDES et al., 2011; PATRICIO et al., 2012).

Uma vez que a diversidade e abundância das abelhas silvestres garantem a polinização e mantém a diversidade vegetal dos ecossistemas, tanto naturais, como antropizados (TSCHEULIN et al., 2011), pesquisadores e agentes governamentais no mundo todo concentram esforços em pesquisas relacionadas com o desaparecimento de muitas espécies de polinizadores dos campos de cultivo (ALLEN-WARDELL et al., 1998; CORBET, 1991; GIANNINI et al., 2012; KEARNS et al., 1998; KEVAN; PHILLIPS, 2001; MATHESON et al., 1996; POTTS et al., 2010; STEFFEN-DEWENTER et al., 2005; WILLIAMS, 1995).

Allen-Wardell et al. (1998), estimaram que, no período entre 1990 e 1995, a perda de abelhas melíferas na América do Norte foi tão abrupta que a abundância desses polinizadores foi menor quando comparada com o período entre 1940 e 1990. Os autores relataram ainda que espécies de plantas nativas em ambiente natural e espécies de plantas cultivadas em ambiente agrícola, sofreram redução significativa na produção de frutos e sementes em um período relativamente curto, em parte, devido à escassez de polinizadores.

Heywood, em uma publicação de 1993 previu para as décadas que se seguiriam, uma perda de mais de 20.000 espécies de plantas no mundo todo. Essa perda seria, de certa maneira, atribuída ao declínio previsto de polinizadores co-dependentes. Biesmejer et al. (2006) demonstraram o declínio dos polinizadores nas regiões da Grã-Bretanha e da Holanda através da comparação de muitos trabalhos sobre levantamentos de polinizadores, entre os períodos anterior e posterior a 1980. Os autores verificaram um declínio na riqueza de espécies de abelhas (exceto *Apis mellifera*) de 52% na Grã-Bretanha e 67% na Holanda. Nesse estudo, os autores observaram ainda, que o declínio de espécies de plantas especialistas e seus polinizadores foi maior do que o declínio observado para as espécies generalistas.

O entendimento de vários aspectos que envolvem a distribuição das espécies, como por exemplo, a maneira como respondem aos padrões de estrutura das paisagens, comportamento de nidificação e forrageamento, as interações de competição, entre outros aspectos, são fundamentais para a elaboração de prognósticos das consequências das alterações ambientais, presentes e futuras, sobre as interações planta – polinizador (BROSI, 2009; GHAZOUL, 2005); a partir de 1945 até os dias atuais, mais terras foram convertidas em áreas agrícolas do que nos séculos XIII e XIX juntos (SARUKHÁN; WHYTE, 2005). Segundo esses autores, os sistemas cultivados cobrem hoje, um quarto da superfície terrestre do planeta. Muitas espécies importantes na polinização têm sido relatadas como altamente sensíveis à perda de sítios de nidificação e a agrotóxicos em geral, o que define sua presença ou ausência em áreas com diferentes manejos.

É importante ressaltar que o nível de comprometimento dos processos ecológicos, frente à intensificação da agricultura, depende da escala espacial em que esses processos ocorrem (KARP et al., 2012). Os processos que ocorrem em larga escala espacial podem determinar a presença de várias espécies de polinizadores, o tamanho de suas populações, suas interações tróficas, a estrutura e a dinâmica das comunidades em uma área (TSCHARNTKE; BRANDL, 2004). Sendo assim, as transformações na paisagem e as alterações bióticas e abióticas em áreas fragmentadas podem resultar na diminuição da abundância e, conseqüentemente, perda da variabilidade genética para algumas espécies além do desaparecimento de outras, com conseqüente perda de diversidade para as comunidades locais (DAVIS et al., 2010; FÉON et al., 2010; LOCATELLI et al., 2004).

Nas últimas décadas, a intensificação da agricultura provocou grandes alterações ambientais, tais como conversão de áreas nativas em áreas de cultivo e, mais recentemente, a conversão dessas áreas de cultivo, até então diversificadas, em grandes áreas homogêneas de campos cultivados com uma única espécie e poucos remanescentes de áreas não cultivadas. Na Europa, os impactos dessas mudanças sobre a biodiversidade, principalmente sobre a fauna de polinizadores, em diferentes escalas (local e de paisagem), foram muito grandes (TSCHARNTKE et al., 2005; WINFREE, 2010).

As áreas tropicais também experimentaram mudanças profundas na agricultura, como a ampliação dos ciclos de cultivo, perda da diversidade de variedades localmente cultivadas, além do aumento no uso de fertilizantes e pesticidas, expansão das áreas cultivadas e a intensificação do uso de maquinário pesado nas lavouras. Esses fatores contribuíram para a conversão de habitats secundários mais diversificados em áreas homogêneas, além da fragmentação de habitats naturais (CAMPOS et al., *no prelo*; TSCHARNTKE et al., 2005).

Além da perda da diversidade, todas essas alterações, entre elas, principalmente a conversão de remanescentes naturais em áreas cultivadas, podem levar a limitações das atividades dos polinizadores que se refletem em perdas na produção de frutos e sementes (LENTINI et al., 2012).

Pesquisas realizadas com diversas espécies cultivadas e nativas, no mundo todo, relacionam a queda na produção de frutos à perda de espécies de polinizadores, que por sua vez, estaria associada à redução da cobertura por vegetação nativa juntamente com o aumento da distância entre os remanescentes florestais (ALLEN-WARDELL et al., 1998; CARVALHEIRO et al., 2010; GONZÁLES-VARO et al., 2009; HOLZSCHUH et al., 2012; KREMEN et al., 2004; LENTINI et al., 2012; PATRICIO, 2007; RATHCKE; JULES, 1993; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 1999).

Aizen e Feinsinger (1994) relataram que a fragmentação de florestas subtropicais provocou um declínio na visitação de abelhas nativas, que resultou na diminuição de 73% no número de frutos e 79% no número de sementes formados nas espécies das plantas estudadas. A ausência de polinizadores também pode ser responsável pela limitação de pólen, que resulta na diminuição de frutos formados de algumas espécies de plantas nativas (CUNNINGHAM, 2000).

No Brasil, a perda da diversidade de polinizadores, suas causas e consequências foram formalmente discutidas, pela primeira vez em 1998, durante o “International Workshop on the Conservation and Sustainable use of Pollinators in Agriculture, with Enphasis on Bees”, realizado em São Paulo. Esse evento resultou na elaboração de um documento – a Declaração dos Polinizadores (BRASIL, MMA, 1999). As iniciativas nacionais e internacionais criadas a partir desse documento, com o objetivo de discutir o status de conservação de espécies de polinizadores e sua importância na polinização, possibilitaram um aumento significativo dos estudos sobre essa temática.

Os estudos que visam à conservação de polinizadores no Brasil têm como foco principal polinizadores de plantas cultivadas e foram inicialmente desenvolvidos por meio do programa PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, 2004). Entre as espécies estudadas, encontram-se o maracujá (KIILL, 2008; OLIVEIRA, 2008; SIQUEIRA et al., 2009; YAMAMOTO; BARBOSA, 2007; YAMAMOTO et al., 2012), manga (KIILL, 2008; SOUZA et al., 2010), açaí (VENTURIERI, 2008), cupuaçu (GRIBEL, 2008), tomate (CAMPOS et al., 2006), entre outros.

1.1.2 Os efeitos da fragmentação, isolamento, degradação e perda de habitats e a configuração das paisagens sobre os polinizadores

Estudos desenvolvidos em áreas agrícolas possibilitam a avaliação dos efeitos de diferentes práticas de cultivo sobre a abundância e a riqueza de espécies de polinizadores. Além disso, auxiliam na busca de respostas para questões que passaram a ser abordadas recentemente, por volta de dez anos, como por exemplo, de que forma os polinizadores reagem à fragmentação, à modificação, e à destruição dos habitats naturais; em que escala essas modificações são sentidas pelas diferentes espécies; qual a importância do manejo das áreas agrícolas e a importância da estrutura das paisagens na manutenção de guildas de polinização particulares, entre outras questões (CAMPOS et al., *no prelo*).

O reconhecimento de que os processos ecológicos são afetados pelas perturbações antrópicas em uma escala de paisagem, mais que em uma escala de habitats, conferiu à Ecologia da Paisagem um papel fundamental nas propostas de manejo e conservação de espécies e processos ecológicos a partir da década de 80

(RISSER, 1987; TURNER, 2005). Entre as classes da paisagem, tais quais áreas construídas, corpos de água, pastagens, áreas cultivadas, entre muitas outras, as principais, que podem afetar a distribuição dos organismos, dentre eles os polinizadores, são a matriz, os corredores e os fragmentos de vegetação natural (FORMAN; GODRON, 1986).

Forman e Godron (1986) definem matriz como um elemento que compõe a maior extensão de uma paisagem e, segundo McGarigal e Marks (1995) é responsável pela maior influência no funcionamento dos ecossistemas.

Corredores podem ser definidos como faixas estreitas, naturais ou antrópicas, que podem apresentar matrizes diferentes em cada um de seus lados (FORMAN; GODRON, 1986). Geralmente em grandes escalas, as paisagens são simultaneamente separadas e unidas por corredores (FARINA, 1998), que podem variar em seu comprimento e função: corredores lineares são geralmente resultado de atividades humanas, caracterizados por serem estreitos e servirem para o deslocamento entre as bordas. Ecologicamente são os principais conectores de remanescentes florestais, o que facilita processos de dispersão e aumenta a diversidade de espécies locais (HARRIS, 1984).

Os fragmentos são superfícies não lineares inseridas em uma matriz, diferentes da superfície ao seu redor. Podem apresentar tipos, tamanhos e formatos variados (FORMAN; GODRON, 1986). Além de suas características espaciais e geométricas, os fragmentos ocorrem em diferentes escalas temporais (KOTLIAR; WIENS, 1990). Essas escalas temporais, que modificam as características espaciais e geométricas dos fragmentos, podem ter origem antrópica (açudes, edificações) ou natural (afloramentos rochosos, clareiras).

Quando a fragmentação das paisagens naturais é resultado da ação antrópica, ela pode ocorrer em um curto período de tempo, o que representa um risco para o ecossistema. A fragmentação de áreas florestais nativas certamente leva a alterações do formato e tamanho dos fragmentos, além do aumento da distância de isolamento entre os mesmos (SCHELHAS; GREENBERG, 1996), podendo comprometer diversos processos e funções ecológicas do ecossistema afetado, tal qual a perda da diversidade de espécies animais e vegetais (SAUNDERS et al., 1991).

Segundo Viana et al. (2012), a primeira pesquisa científica que averiguou explicitamente os efeitos das alterações na distribuição espacial dos habitats sobre

as atividades dos polinizadores foi desenvolvida no Brasil, por Powell e Powell, em 1987. Nesse trabalho, os autores verificaram a variação na densidade populacional de machos de *Euglossinae* em uma região na Amazônia Central, em florestas contínuas e fragmentos de diferentes tamanhos, os quais variaram entre um hectare, 10 ha e 100 ha. Os resultados mostraram que a densidade populacional foi significativamente maior nas áreas de floresta contínua. Os autores verificaram ainda que áreas desmatadas com, 100 m de largura, comportaram-se como barreiras físicas, isolando alguns fragmentos. Fragmentos de tamanhos menores também foram considerados inviáveis para a manutenção de uma população de *Euglossinae* (POWELL; POWELL, 1987).

Desde 1987 até o ano de 2000, poucos foram os trabalhos realizados na tentativa de avaliar as consequências da fragmentação de habitats sobre os polinizadores (VIANA et al., 2012).

Considerando-se os insetos em geral, o trabalho de Didham et al. (1996) foi um dos pioneiros em demonstrar o efeito da fragmentação de habitats sobre processos ecológicos mediados por insetos, entre eles, polinizadores, predadores de sementes, parasitoides e decompositores. Esses autores constataram que a riqueza e a abundância de todas as espécies estudadas, dentre as quais as especialistas foram as mais afetadas, diminuíram com o aumento da fragmentação de ambientes naturais. Sendo assim, o grau de especialização dos grupos funcionais é um aspecto fundamental na determinação das respostas à fragmentação dos habitats; espécies mais especialistas tendem a ser mais susceptíveis à fragmentação de florestas do que espécies mais generalistas. Por definição, as espécies especialistas são intimamente ligadas a hospedeiros, presas ou tipos de habitats particulares, e possuem pouca flexibilidade para se adaptarem a mudanças no ambiente (DIDHAM et al. 1996).

Ao contrário das espécies com deslocamento mais limitado, a capacidade de deslocamento dos organismos móveis, como algumas espécies de abelhas e aves, pode atenuar a deficiência de polinização e dispersão de sementes, provocada por alterações na comunidade local (KREMEN et al., 2007; BREITBACH et al., 2011).

Deve-se considerar também que os diferentes grupos de organismos móveis reagem de maneiras diferentes às alterações ambientais (BREITBACH et al., 2011). Abelhas solitárias, por exemplo, respondem a características dos habitats imediatamente próximos a seus sítios de nidificação e forrageamento (RATHCKE;

JULES, 1993; STEFFAN-DWENTER et al., 2002; STEFFAN-DWENTER; TSCHARNTKE, 1999). Zurbuchen et al. (2010) testaram experimentalmente o raio de forrageamento de espécies de abelhas com tamanho corpóreo pequeno, médio e grande, e encontraram que, embora as abelhas de tamanho médio e grande possam forragear a mais de 1000 m de distância a partir dos ninhos, a maioria se movimenta próximo ao entorno deles, a cerca de 300 m.

Esse panorama permite inferir que os indivíduos de espécies de plantas polinizadas por abelhas especialistas devem estar conectados em habitats diversificados em uma escala restrita. Plantas isoladas, distribuídas em paisagens homogêneas e fragmentadas, dependem de polinizadores com amplo raio de voo e mais generalistas para o transporte de pólen (RATHCKE; JULES, 1993; STEFFAN-DWENTER et al., 2002; STEFFAN-DWENTER; TSCHARNTKE, 1999).

Patricio e Gomig (2008) revisaram a bibliografia relacionada aos efeitos das paisagens na diversidade de polinizadores, em especial as abelhas, associados a cultivos. A maioria dos trabalhos mostra uma forte relação entre a produtividade de diferentes cultivos tais como palmeiras de sub-bosque (AGUIRRE; DIRZO, 2008), cerejas (HOLZSCHUH et al., 2012), café (KLEIN et al., 2003b), melancia (KREMEN et al., 2002) entre outros, e a presença de fragmentos de vegetação nativa em suas proximidades.

Esses remanescentes podem oferecer grande quantidade de sítios de nidificação para diferentes grupos de abelhas sociais ou mesmo para as solitárias. Essas condições garantem a permanência de diferentes espécies de abelhas, que forrageiam no entorno próximo, em busca de fontes complementares de alimento (LIOW et al., 2001). Logo, quanto mais próxima a localização de um cultivo em relação a um remanescente de mata, maior será a probabilidade do sucesso reprodutivo das plantas.

Klein et al. (2003b) comprovaram essa relação para os cultivos de café, na Indonésia. Em todas as áreas de cultivo estudadas, havia remanescentes de vegetação nativa no entorno, porém a distâncias variadas. Os autores observaram que a diversidade de abelhas sociais e a produção de frutos diminuíram com o aumento da distância entre os cultivos e os remanescentes de vegetação nativa. Em cultivos distantes cerca de 900 m de remanescentes florestais, a porcentagem de frutificação foi de 70%, enquanto que para cultivos mais próximos, em média até 250 metros desses fragmentos a porcentagem de frutificação foi de 90%. Esse

resultado sugere que a distância entre o cultivo e os fragmentos provavelmente exerce influência sobre a visitação de abelhas nas áreas cultivadas.

Ricketts (2004) verificou que a distância dos cultivos de café, em relação a remanescentes florestais, na Costa Rica, foi um fator determinante na taxa de visitação das flores; os cultivos mais próximos de fragmentos receberam mais visitas. Em pomares de amêndoas, localizados na Califórnia, a riqueza de espécies de abelhas solitárias, a frequência da visitação nas flores e a produção de frutos foi diretamente proporcional à presença de habitats seminaturais adjacentes aos cultivos (KLEIN et al., 2012).

A distância dos cultivos em relação a remanescentes de mata foi igualmente importante para cultivos de manga, em regiões da África do Sul, onde a diversidade e abundância de polinizadores também foi maior nos cultivos onde a distância até os remanescentes naturais era menor (CARVALHEIRO et al., 2010). O mesmo foi observado por Benevides et al. (2009) para o maracujá. Pode-se afirmar então, que a eficiência dos polinizadores, especificamente as abelhas, é afetada pelo isolamento dos cultivos, seguindo o mesmo padrão encontrado para a diversidade e abundância de espécies desse grupo. Esse parâmetro pode ser mais importante para a produtividade de plantas cultivadas do que a forma como as áreas são manejadas, se convencional ou orgânico, como observado em cultivos de melancias, na Califórnia (KREMEN et al., 2002) e uvas, localizados no nordeste da Itália (BRITTAİN et al., 2010). Esses dados permitem inferir que apenas o manejo da área cultivada não é suficiente para garantir a polinização.

Além da distância entre fragmentos de remanescentes naturais e isolamento das áreas cultivadas, outro fator que exerce influência sobre a polinização é a porcentagem de cobertura dos solos com vegetação nativa no entorno próximo aos cultivos. Esse fator pode interferir positivamente na riqueza e abundância de abelhas e consequentemente na produtividade dos cultivos, em uma escala de até 2 km, como observado para cultivos de maçã, instalados em diferentes regiões do Estado de Wisconsin (WATSON et al., 2011) e cultivos de azeitonas, localizados no Mediterrâneo (TSCHEULIN et al., 2011).

Patricio (2007) avaliou o sucesso reprodutivo de *Solanum viarum* Dun (Fam. Solanaceae), na região de Corumbataí, interior de São Paulo, em paisagens homogêneas e heterogêneas quanto ao uso e ocupação do solo. A hipótese de que habitats mais diversificados abrigariam maior diversidade de polinizadores e

consequentemente garantiriam maior sucesso reprodutivo foi rejeitada. Os parâmetros avaliados foram porcentagem de cobertura de mata, densidade de fragmentos, número total de bordas, área central total, índice de difusão e justaposição, riqueza das manchas e índice de diversidade de Shannon. Entre todos esses parâmetros, o único com resposta significativa foi a porcentagem de cobertura de matas, positivamente relacionada à diversidade de polinizadores e ao sucesso reprodutivo de *S. viarum* Dun.

Apesar dos resultados obtidos por Patricio (2007), a diversificação dos habitats e das paisagens e a presença de ambientes propícios ao estabelecimento de polinizadores, têm sido relatados por vários autores como importantes para garantir a polinização (KEARNS et al., 1998; KLEIN et al., 2007; KREMEN et al., 2004; KREMEN et al., 2007; STEFFAN-DEWENTER et al., 2002; WESTPHAL et al., 2003).

Em geral, o uso das paisagens no forrageamento das abelhas está relacionado com a capacidade de voo das espécies, que por sua vez é influenciada pelo tamanho do corpo; abelhas de tamanho pequeno forrageiam em escalas de paisagem menores (cerca de 250 a 500 m). Enquanto que abelhas de tamanho grande, como as do gênero *Bombus*, voam em escalas de paisagem maiores, de até seis quilômetros (STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2002; TSCHEULIN et al., 2011).

A configuração da paisagem é outro elemento que exerce influência sobre a presença de polinizadores em áreas cultivadas. A presença de edificações, áreas gramadas e estradas, pode afetar negativamente a riqueza e abundância de espécies de abelhas silvestres (WATSON et al., 2011). Westphal et al. (2003) demonstraram que uma matriz suficientemente grande, com poucas flores ou que apresente poucas espécies de plantas em florescimento, pode atuar como uma barreira para os polinizadores, enquanto que uma matriz ocupada por um grupo de plantas florescendo em massa, pode promover conectividade e fornecer recursos de néctar e pólen durante períodos de escassez floral nos habitats remanescentes.

A importância da conectividade entre manchas de remanescentes e áreas cultivadas foi demonstrada por Cranmer et al. (2011). Os autores conduziram um estudo no Reino Unido, onde avaliaram elementos lineares da paisagem, naturais e artificiais, conectando ou não áreas experimentais plantadas com *Salvia pratensis* L. (Fam. Lamiaceae) à remanescentes florestais. Os autores semearam corredores de

plantas visitadas por abelhas e concluíram que tanto nas áreas com corredores naturais como nas áreas onde os corredores foram semeados, elementos como cercas-vivas influenciaram as direções de voo de *Bombus*, ou seja, essas abelhas voaram nas direções onde havia os corredores em florescimento. Nesse caso, as plantas localizadas em regiões de maior conectividade receberam mais visitas de polinizadores e, conseqüentemente, maior quantidade de pólen. Por conseguinte, obtiveram maior sucesso reprodutivo, quando comparadas com plantas localizadas em paisagem isoladas de elementos de habitats essenciais para os polinizadores, tais quais sítios de nidificação e alimentação. Este estudo mostrou, portanto, que a conectividade entre os cultivos e remanescentes de habitats seminaturais pode fornecer uma resposta direcional, que por sua vez, pode ter um efeito positivo sobre o sucesso reprodutivo das plantas cultivadas.

1.1.3 A importância da qualidade dos habitats sobre os polinizadores e os desafios para a conservação das abelhas

O número de trabalhos que buscam avaliar a importância do papel desempenhado pelos polinizadores e a necessidade da conservação das abelhas tem aumentado nos últimos anos. Eardley e Imperatriz-Fonseca (2002), em uma compilação de trabalhos sobre a conservação de polinizadores, evidenciaram a importância do desenvolvimento de pesquisas sobre a biologia da polinização de alguns cultivos em particular. Nesse trabalho, os autores enfatizaram que as pesquisas deveriam permitir a identificação de polinizadores - chave nos diferentes agroecossistemas. Além disso, os autores também ressaltam a importância de estudos cujos resultados subsidiem propostas de práticas agrícolas compatíveis com a conservação dos polinizadores e conseqüentemente com a manutenção da polinização. Para tanto, um dos primeiros desafios é determinar a qualidade dos habitats para os polinizadores (DENNIS; EALES, 1997; 1999; THOMAS et al.; 2002).

A dificuldade em se determinar a área mínima viável, necessária para a manutenção de cada população representa um desafio adicional, visto que o ideal para a conservação das espécies de polinizadores seria aumentar a área de reserva natural (DOVER; SETTELE, 2009; THOMAS, 1999). Ainda assim, um desafio maior é manter um monitoramento das paisagens, o que requer uma perspectiva espaço-temporal detalhada, de forma a monitorar o papel dos diferentes habitats durante

todas as estações e períodos de safra e entressafra, de tal maneira que se consiga manter as condições necessárias para a permanência dos polinizadores na área (CAMPOS et al., *no prelo*; MANDELIK et al., 2012; ZURBUCHEN et al., 2010).

A base para a proposição de práticas favoráveis para garantir essa permanência dos polinizadores junto aos campos de cultivo, é o conhecimento das necessidades das diferentes espécies em relação à disponibilidade de alimentos e de sítios de nidificação, bem como suas tolerâncias às modificações de seus habitats naturais (CAMPOS et al., *no prelo*).

Para permitir o estabelecimento de polinizadores próximos de cultivos, deve-se considerar, por exemplo, que diferentes guildas de abelhas, nidificam em substratos distintos. A maioria das espécies solitárias escava o solo, tanto na superfície plana, como em barrancos, ou nidificam em ramos de árvores ou troncos de madeira em diferentes graus de decomposição. Já as espécies sociais podem utilizar cavidades em árvores vivas, como é o caso de alguns Meliponini, ou mesmo cavidades no solo associadas a touceiras de gramíneas, como espécies do gênero *Bombus* (CAMPOS et al., *no prelo*; MICHENER, 2000), além das espécies que constroem ninhos externos em substratos arbóreos.

Em paisagens de agricultura intensiva, muitas espécies são confinadas a pequenas áreas não cultivadas, como por exemplo, nos campos marginais. Sugere-se que esses pequenos elementos de habitat possam não suportar populações viáveis de polinizadores (ÖCKINGER; SMITH, 2007), pois geralmente apresentam poucas espécies em florescimento. Esse cenário favorece as abelhas sociais, de hábitos mais generalistas, como *Apis* (STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2002) e pode causar um impacto tanto na população de abelhas solitárias (GONZÁLES-VARO et al., 2009; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2002), em decorrência de uma possível competição com abelhas sociais, quanto na população de plantas especialistas, que dependem de grupos específicos de abelhas.

Vergara e Badano (2009), por exemplo, afirmaram que a riqueza de espécies e diversidade de abelhas polinizadoras de café, na região central de Vera Cruz, no México, foi maior em paisagens com impacto ambiental reduzido e com presença de vegetação nativa quando comparada com cultivos de áreas altamente impactadas.

Análises da configuração espacial de fragmentos de habitats em escala de paisagem, por exemplo, podem auxiliar a identificação de fragmentos mais próximos dos cultivos, os quais podem suportar uma maior diversidade de abelhas,

dependendo dos recursos que estes oferecem (DOVER; SETTELE, 2009; LENTINI et al., 2012). Essas análises podem ainda identificar fragmentos mais distantes, que podem abrigar recursos alternativos de alimentação e nidificação e se tornar acessíveis mediante a criação de corredores ecológicos que direcionem o deslocamento de abelhas até as áreas cultivadas. Esses corredores, quando compostos por espécies que florescem o ano todo, podem oferecer um habitat complementar de forrageamento. Para tanto, essas faixas devem ser manejadas de maneira que a frequência de poda permaneça baixa (KREWENKA et al., 2011). Além desse manejo, a preservação de elementos como cercas ou troncos de árvores podem fornecer sítios de nidificação para as abelhas, mantendo assim a diversidade de habitats necessária para a manutenção das populações de polinizadores na paisagem (HOLZSCHUH et al., 2010).

Carvell et al. (2011) confirmaram a importância da conservação de habitats seminaturais experimentalmente. Os autores semearam uma mistura de plantas forrageiras para *Bombus*, que formaram corredores, de tamanhos variados, os quais cobriram uma extensa área de diferentes tipos de uso do solo. A riqueza de espécies e a densidade de operárias de *Bombus*, foi maior onde as plantas foram semeadas, quando comparadas com áreas sem manejo algum.

O manejo sustentável de paisagens agrícolas deve considerar, portanto, estratégias variadas para o estabelecimento e a permanência dos polinizadores nas áreas cultivadas (BATÁRY et al., 2010; HANNON; SISK, 2009; WATSON et al., 2011; WESTPHAL et al., 2003; WRATTEN et al., 2012; VAUGHAN; BLACK, 2008), nos períodos de ausência de flores e, durante o florescimento, assegurar a otimização da produção (HOLZSCHUH et al., 2012). Essa forma de manejo deve considerar também a configuração da paisagem – presença ou ausência de fragmentos e manchas de habitats, além da conectividade entre eles e o tamanho de suas áreas.

Apesar da maioria dos trabalhos ressaltarem a importância de habitats naturais próximos às áreas cultivadas, visando à manutenção de polinizadores e espécies vegetais que dependam da polinização desses animais para a reprodução (VIANA et al., 2012), ainda são necessários estudos nos ecossistemas do mundo todo, principalmente no Brasil, onde abordagens dessa natureza ainda são recentes (PATRICIO, 2007).

Esses estudos devem avaliar diretamente a relação entre polinização

promovida por abelhas silvestres e a manutenção de mosaicos, onde áreas cultivadas e a vegetação nativa coexistam (LENTINI et al., 2012). Além disso, deve-se realçar a necessidade de pesquisas com uma abordagem mais integrada, que incluam toda a cobertura do solo, ao avaliar os efeitos do contexto da paisagem sobre a diversidade e abundância de abelhas (TSCHEULIN et al., 2011) e a produtividade dos cultivos. Pesquisas dessa natureza podem fornecer dados concretos que reforcem a necessidade da conservação de diferentes espécies de plantas e animais, além de oferecerem subsídios para a proposição de planos de manejo, assim como informações indispensáveis para execução de políticas públicas e privadas, voltadas para a conservação da biodiversidade.

1.2 **O**BJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a dependência de *Solanum melongena* L. (Fam. Solanaceae) em relação a polinizadores e avaliar a influência da paisagem sobre a diversidade de abelhas e sobre a produtividade dos cultivos.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Avaliar a dependência de abelhas para a produção de frutos do cultivo de berinjelas (*Solanum melongena* L.);
- ❖ Identificar as abelhas visitantes de diferentes cultivos de berinjelas;
- ❖ Avaliar a importância do contexto da paisagem e do manejo das áreas para os polinizadores da berinjela e conseqüentemente, para a produtividade dos cultivos.

1.3 **M**ATERIAIS E MÉTODOS

1.3.1 Escolha e características gerais da espécie alvo

Para esse estudo foi selecionado a variedade *Napoli*, por ser comercializada na região. O cultivo tem duração de aproximadamente 6 meses. Após o plantio das mudas, o primeiro pico de florescimento ocorre em cerca de 2 meses e tem duração de um mês. Depois de mais ou menos 20 dias da queda das flores do primeiro pico de florescimento, ocorre outro pico, com maior número de flores. Por esse motivo, neste estudo, os experimentos e amostragem de abelhas foram realizados durante o segundo pico de florescimento.

Solanum melongena L., pertence à família Solanaceae (FILGUEIRA, 1982), que de acordo com D'arcy (1973) compreende mais de 1.400 espécies com distribuição cosmopolita e tropical. A berinjela é originária das regiões tropicais do Oriente e é cultivada há séculos por árabes e chineses. Na década de 90, esse cultivo se desenvolveu consideravelmente, principalmente na Europa e Estados Unidos (VIEIRA et al., 1996).

Segundo dados de Brasil (IEA) (2011), a produção de berinjelas somente no Estado de São Paulo chega a 39.748,73 toneladas/ano e é responsável pela geração de mais de 1.000 empregos. Além disso, o consumo dessa hortaliça no Brasil vem crescendo, devido às propriedades medicinais atribuídas à berinjela, tais quais, redução do colesterol (GONÇALVES et al., 2006; GUERRA et al., 2007), reumatismo (GUERRA et al., 2007), controle de diabetes, dor de dentes e doenças do fígado, além de ser um produto altamente nutritivo (CHEN; LI, s/a).

O gênero *Solanum* apresenta anteras com deiscência poricida, uma característica importante que confere às espécies desse gênero peculiaridades marcantes quanto ao fornecimento de recursos alimentares para visitantes florais, no caso, o pólen, que exige adaptações morfológicas e comportamentais especializadas (AVANZI; CAMPOS, 1997).

A planta da berinjela é arbustiva, de caule semi-lenhoso e ereto (FILGUEIRA, 1982). Em condições naturais, é uma planta perene e pode atingir de 3 a 5 metros de altura, porém, como é cultivada comercialmente, o ciclo do cultivo é anual e por isso, sua altura se restringe a cerca de um metro (KOWALSKA, 2008).

A flor é pentâmera e hermafrodita, pode ser solitária ou ocorrer em cimeiras de duas a cinco flores. As folhas podem ser opostas ou subopostas. O pedicelo é pubescente, longo e arredondado. O cálice possui de 2 a 2,5 cm de comprimento, piloso e provido de espinhos; apresenta uma forma de copo na base da flor e é presente até a maturação dos frutos. A corola é curvada, glabra e pilosa na porção inferior, com coloração lilás claro (QUAGLIOT, 1979).

Os estames possuem de 1 a 1,2 cm de comprimento e se alternam com os lobos da corola, são livres, eretos e de cor amarelada, com filamentos muito pequenos e achatados na base, apresenta anteras longas, de um amarelo vivo, que se abrem em dois poros apicais e formam um cone ao redor do estilete, o qual pode apresentar alturas variáveis, característica denominada heterostilia. Kowalska (2008), através de uma revisão bibliográfica aborda com detalhes essa característica. O estigma da flor de berinjela é capitado e de coloração esverdeada. O ovário é bilocular (QUAGLIOT, 1979). Detalhes da flor de *S. melongena* L. podem ser observados na figura 1.

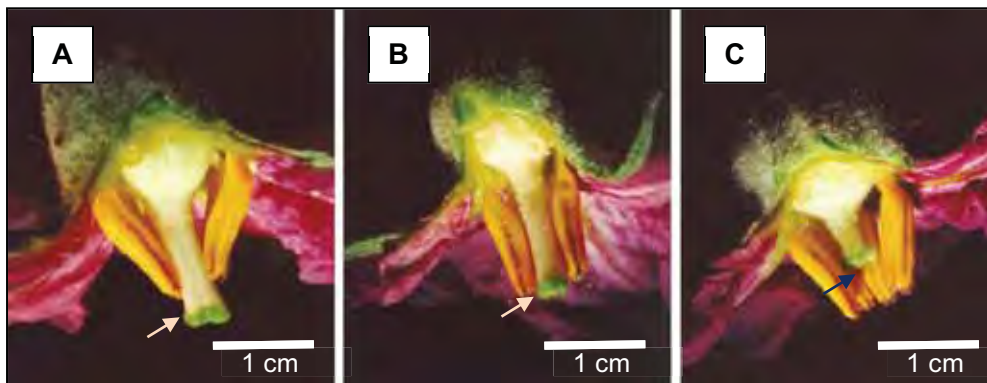
Rylski et al. (1984) e posteriormente, Kowalska (2008) realizaram um estudo sobre a biologia reprodutiva de berinjelas e verificaram heterostilia, com ocorrência de estigmas com diferentes comprimentos, desde curto (Figura 1A), médios (Figura 1B) a longos (Figura 1C).

Esses autores observaram que flores brevistilas, raramente formaram frutos, tanto nos tratamentos com polinização aberta como nos tratamentos realizados com polinização manual, enquanto flores longistilas apresentaram frutos formados em cerca de 90% dos botões marcados. A porção masculina (androceu) se mostrou funcional em ambos os tipos, com pólen viável desde o período de pré-antese até a queda das pétalas (FREE, 1993 *apud* GEMMILL-HERREN; OCHIENG, 2008) e grãos de tamanhos e formas padronizadas. Já a porção feminina apresentou diferenças significativas, tanto morfológicas quanto funcionais. Apesar do tamanho dos óvulos ser semelhante nos dois tipos de flores, o estigma das flores brevistilas apresentou papilas subdesenvolvidas e menor teor de açúcar, enquanto que o estigma das flores longistilas apresentou maior receptividade no segundo dia após a abertura da flor (FREE, 1993 *apud* GEMMILL-HERREN; OCHIENG, 2008). Nos experimentos de polinização controlada, os autores observaram ainda que em flores brevistilas, não houve formação de tubo polínico, nem início de germinação dos

grãos de pólen, o que impediu a formação de frutos nesses tipos de flores (RYLSKI et al., 1984).

S. melongena L. apresenta uma grande variedade de tipos de frutos, determinados geneticamente, alguns de coloração e formas diferentes, desde formas arredondadas ou ovaladas – de onde vem o termo em inglês “eggplant” (CHEN; LI, s/a) – até formas de clava alongadas. As cores podem variar de branco, amarelo ou verde até tons diferentes de púrpura ou quase pretos (CHEN, s/a) - mais comuns no Brasil (Figura 2).

Figura 1 – Detalhe da flor de berinjela, salientando a heterostilia. **A.** Flor longistila, cujo estigma (seta) encontra-se acima da altura do cone de anteras. **B.** Flor mediotila, com estigma (seta) na altura do cone de anteras. **C.** Flor brevistila, com o estigma (seta) localizado abaixo do cone de anteras.



Fonte: Kowalska (2008).

Figura 2 – Variedade de formas, tamanhos e cores de berinjela (*Solanum melongena*, Fam. Solanaceae).

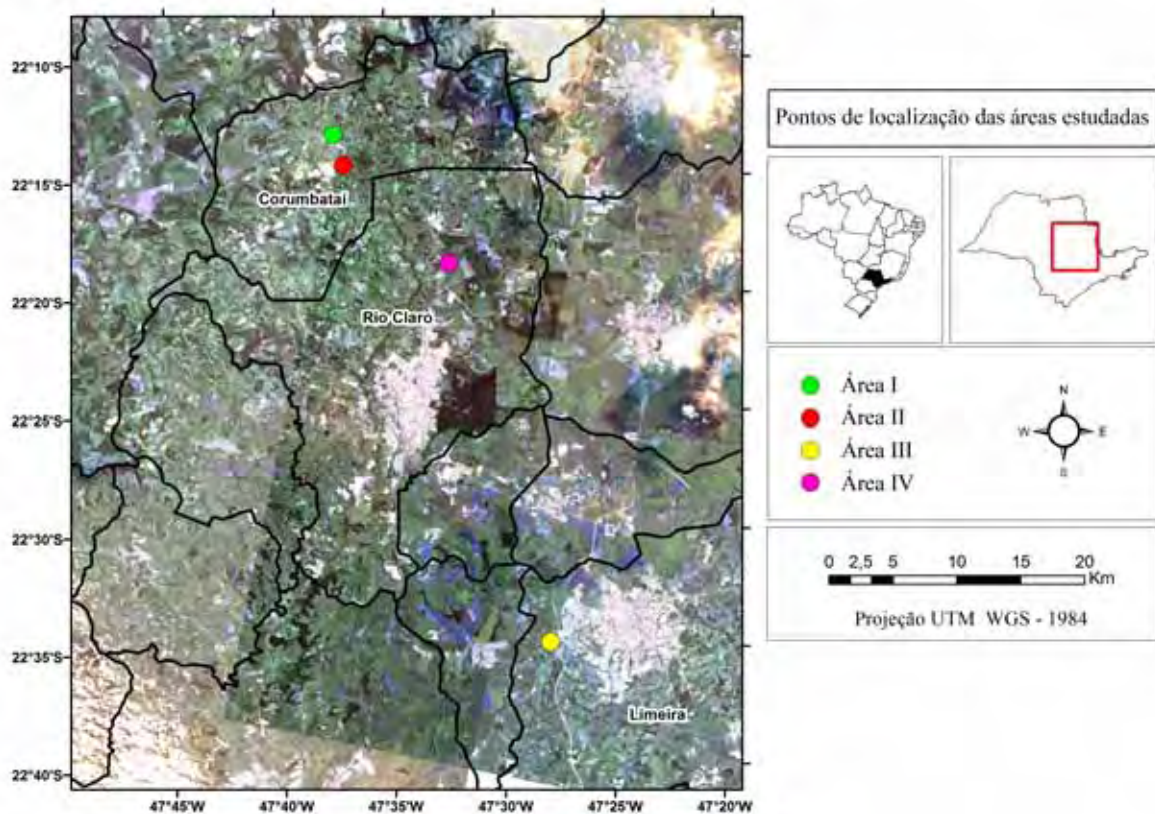


Fonte: <http://www.veggiegardeningtips.com/eggplant-harvest> (Acesso em: 17 mar 2011).

1.3.2 Áreas estudadas e período do estudo

Foram selecionadas quatro áreas (Figura 3) para a realização desta pesquisa, de acordo com a presença de cultivos comerciais de berinjelas, além da permissão e colaboração do proprietário. Duas áreas são manejadas segundo as normas de cultivo convencional (áreas I e II, ambas localizadas no município de Corumbataí, SP) e duas são manejadas segundo as normas de cultivo orgânico (áreas III e IV, localizadas na cidade de Limeira e no Distrito de Ajapí, Rio Claro, SP, respectivamente).

Figura 3 – Imagem de satélite com a localização das áreas estudadas.



1.3.2.1 Área I

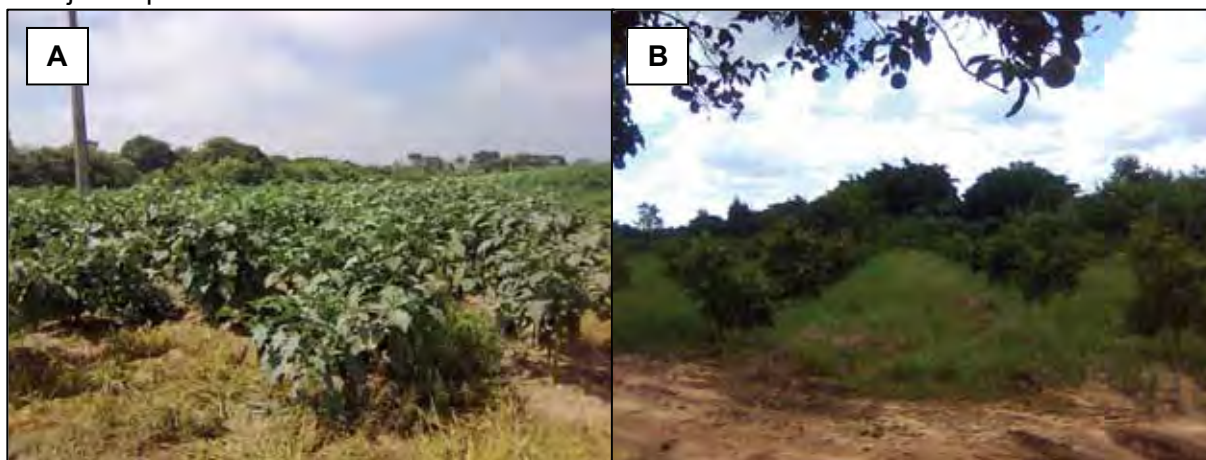
Localizada na área rural do município de Corumbataí – SP (22° 13'15.33" S e 47° 37'18.95" W). Trata-se de uma propriedade de manejo agrícola convencional. O cultivos de berinjelas ocupava uma área total com cerca de 2000 m². Embora a propriedade pertença à mesma família há sessenta anos, as técnicas de manejo

passaram a seguir os padrões convencionais somente há cinco anos; antes disso, a produção de hortaliças na área era realizada apenas para consumo familiar.

É uma pequena propriedade com cerca de três alqueires, cujos cultivos principais se alternam entre berinjela, jiló, pimentão, quiabo e mandioca. Durante os experimentos, o cultivo de berinjelas (Figura 4A) estava localizado entre dois canteiros de jiló e uma plantação de mandioca – todos com mais ou menos 100 metros de comprimento. No lado oposto ao plantio de berinjelas, encontram-se alguns pés de laranja e muitas ruderais (Figura 4B), porém poucas delas encontravam-se em período de florescimento durante a coleta de dados.

O produtor não segue um cronograma fixo para a aplicação de defensivos agrícolas, fazendo o uso quando necessário, ou seja, a aplicação dos agrotóxicos é realizada de maneira curativa. Também mantém um sistema de cultivo rotativo, onde alterna o plantio das espécies cultivadas no mesmo local, de maneira que raramente um mesmo cultivo é estabelecido seguidamente na mesma área.

Figura 4 – **A.** Parte do cultivo de berinjelas; **B.** Vista geral das ruderais em meio as laranjeiras presentes na área.



1.3.2.2 Área II

Essa área, com cerca de 5 hectares, é manejada pelo mesmo proprietário da área I, e também está localizada na área rural da cidade de Corumbataí, SP (22°14'29.34" S e 47° 36'40.04" W). O cultivo de berinjelas ocupava aproximadamente 1000 m². Por pertencer ao mesmo proprietário, as formas de manejo para os dois cultivos são muito parecidas – com diferentes espécies

cultivadas em canteiros vizinhos. Nessa propriedade, a berinjela estava sendo cultivada entre plantios de milho e abóbora.

A propriedade é delimitada por uma faixa de cerca viva, que oferece sítios de nidificação para várias espécies de abelhas solitárias, como por exemplo, *Xylocopa* sp., (Figura 5A) e fontes complementares de pólen e néctar para as abelhas visitantes da área (Figura 5B).

Apesar de o produtor seguir as mesmas técnicas de manejo, neste cultivo, o plantio de berinjelas foi abandonado. Sendo assim, não foi utilizado nenhum produto químico, nem mesmo para o controle de plantas invasoras (Figuras 5C e 5D), que infestaram o cultivo. No entanto o produtor fez a colheita e comercialização dos frutos normalmente.

Figura 5 – **A.** Entrada do ninho (seta) de uma espécie do gênero *Xylocopa*. **B.** Vista geral da cerca viva em florescimento que delimita a propriedade. **C.** Vista geral do cultivo, com pequeno fragmento ao fundo. **D.** Detalhe do cultivo de berinjelas (seta) invadido por ruderais.



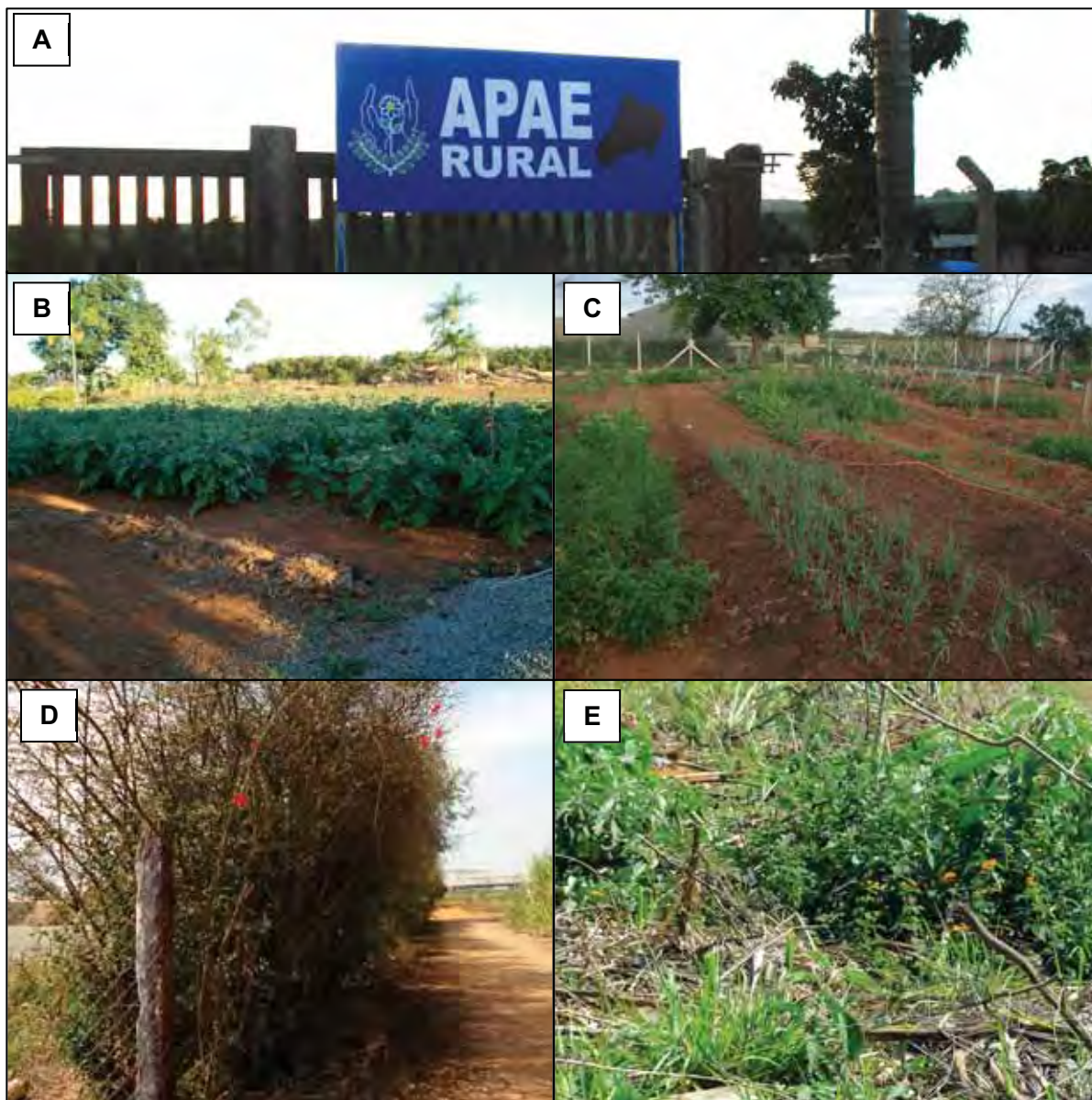
1.3.2.3 Área III

O sítio está localizado na área rural do município de Limeira – SP, no Bairro Geada, paralelamente à rodovia Deputado Laércio Corte (SP 147), que liga Limeira ao município de Piracicaba – SP. Esta propriedade pertence à APAE (Figura 6A), onde é desenvolvido o projeto Apae Rural, que tem como objetivo a melhoria no atendimento aos usuários. A ideia desse projeto é fazer do sítio um lugar para os atendimentos terapêuticos e também atividades que subsidiem as despesas, como a venda de ovos, verduras e hortaliças. Ele está em funcionamento desde fevereiro de 2008 e foi especialmente planejado para fins pedagógicos, para que os alunos tenham contato com situações que exploram o convívio com animais e a natureza.

A área atual é de aproximadamente 42.000 m², onde são desenvolvidas atividades de horta, pomar, plantações de milho, feijão, berinjela (Figura 6B), entre outras culturas (Figura 6C), também segundo as técnicas de manejo orgânico, além da criação de galinhas e outros animais utilizados nos projetos pedagógicos para os tratamentos dos usuários. O cultivo de berinjelas ocupava uma área de mais ou menos 600 m².

Delimitando a propriedade, existe uma cerca viva, que também oferece fontes complementares de alimento para as abelhas (Figura 6D), e algumas áreas não manejadas, nos arredores da horta e dos pomares, com a presença de vegetação ruderal que cresce entre os cultivos, (Figura 6E), cuja principal função é formar um pasto apícola.

Figura 6 – Vista geral da propriedade III localizada na cidade de Limeira – SP. **A.** Identificação na entrada do sítio; **B.** área destinada ao cultivo de berinjelas; **C.** Vista geral da horta; **D.** Vista da cerca viva que delimita o sítio. **E.** Detalhe da porção de solo “sujo”, com a presença de plantas ruderais.

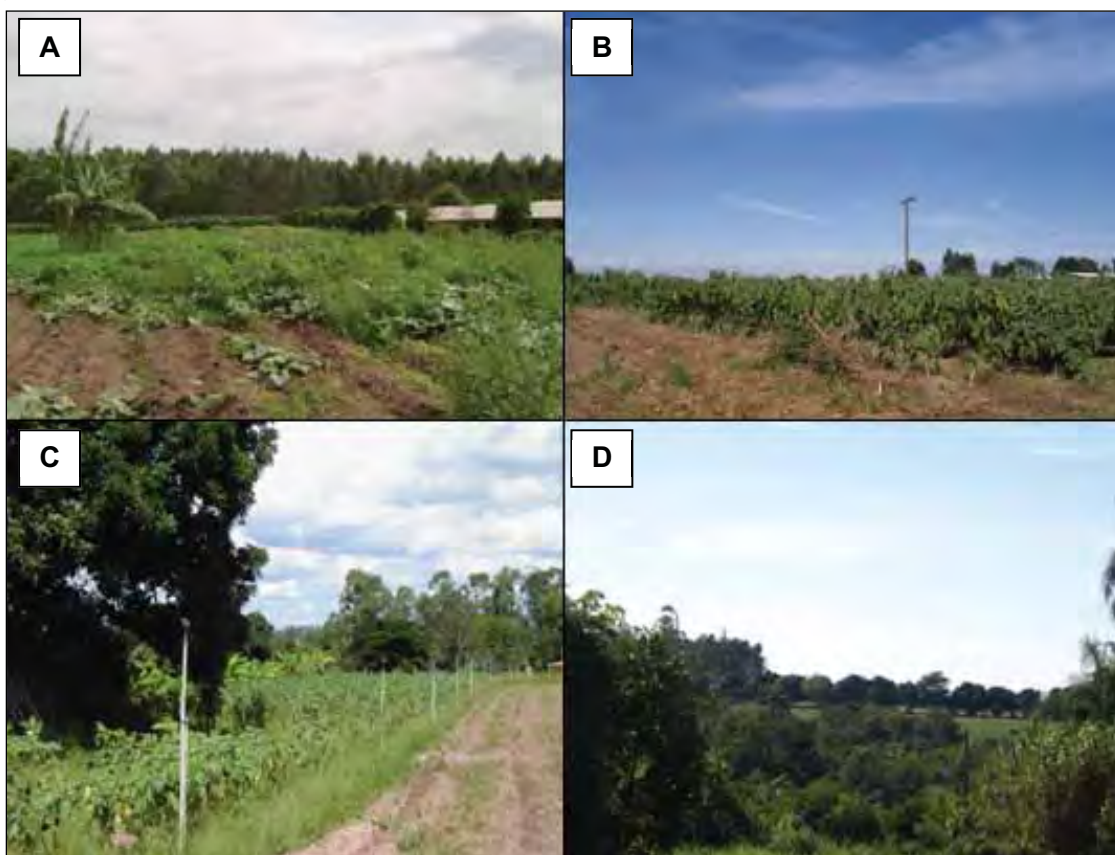


1.3.2.4 Área IV

Esta propriedade localiza-se no Distrito de Ajapí, município de Rio Claro – SP (22° 18'39.46" S e 47° 32'29.55" W). Constitui-se em um sítio com área de aproximadamente 3 ha, voltado basicamente à produção de verduras e legumes em geral (Figura 7A), dentre eles a berinjela, que cobria uma área de 600 m², onde é empregado o método de cultivo orgânico.

Assim como na propriedade III, os arredores das áreas de cultivo de berinjelas (Figura 7B) são de uma forma geral caracterizados pela presença de vegetação ruderal (Figura 7C e 7D) que cresce e se estabelece temporariamente em diferentes áreas da propriedade, espécies de frutíferas arbóreas e espécies ornamentais que compõem o “quintal” da casa do proprietário.

Figura 7 – Vista geral da propriedade IV localizada no Distrito de Ajapi, Município de Rio Claro. **A.** Vegetação ruderal; **B.** Área destinada ao cultivo de berinjelas; **C.** Vista geral da entrada da propriedade; **D.** Vista da mata ciliar que delimita a propriedade.



Como a seleção áreas dependeu da presença de cultivos comerciais de berinjelas, não foi possível padronizar o período de amostragem nas áreas. A tabela 1 apresenta o tipo de manejo realizado nas áreas estudadas, a localização das mesmas, o período de amostragem e o tamanho do cultivo (em número de pés plantados).

Tabela 1 – Tipo de manejo, localização, número de pés cultivados e período de estudo nas quatro áreas estudadas.

Área: Localização (Tipo de manejo)	Coordenadas	Período estudado	Número de plantas na área cultivada
I: Corumbataí (Convencional)	22° 13'15.33" S 47° 37'18.95" O	Fevereiro a Abril, 2010	2000
II: Corumbataí (Convencional)	22° 14'29.34" S 47° 36'40.04" O	Setembro a Novembro, 2010	1000
III: Limeira (Orgânico)	22° 34'57.00" S 47° 27'36.95" O	Maio a Julho, 2010	600
IV: Ajapí (Orgânico)	22° 18'39.46" S 47° 32'29.55" L	Setembro a Novembro, 2011	600

1.3.3 Influência da visita dos polinizadores sobre a formação de frutos dos cultivos

Como a flor de berinjela apresenta heterostilia (Figura 8), para a execução dos experimentos, foram selecionadas apenas flores longistilas, cujo estigma está localizado acima do cone de anteras, sendo facilmente identificado (Figura 8B). Para tanto, os botões florais em fase de pré-antese eram abertos cuidadosamente com auxílio de uma pinça com ponta fina, sem danificar nenhuma estrutura.

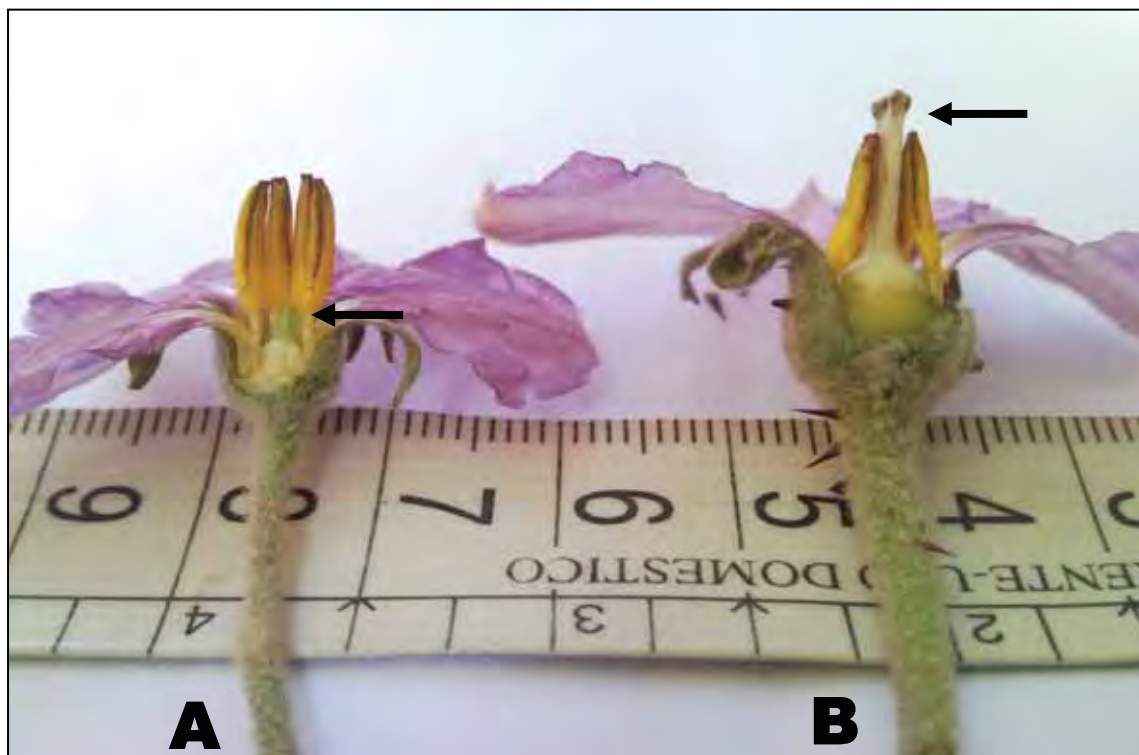
A influência da visita dos polinizadores sobre a formação dos frutos foi testada experimentalmente por meio de três testes de polinização (T1, T2, T3).

- **T1 (Ausência de visitação de insetos):** cinquenta botões foram ensacados durante a fase de pré-abertura e permaneceram assim até a queda das pétalas e anteras, impedindo o acesso de visitantes florais. Após uma semana os sacos de papel foram retirados e as flores, já senescentes foram marcadas com barbante colorido para o acompanhamento do desenvolvimento dos frutos.

- **T2 (Visitação livre para insetos):** a mesma quantidade de botões (n=50) foi marcada com barbante colorido e as flores foram deixadas expostas à visitação livre e acompanhadas até a formação dos frutos.

- **T3 (Complementação de pólen):** Neste teste, os botões (n=50) foram submetidos ao mesmo tratamento anterior (T2), porém durante o segundo dia após a antese (cerca de 48h), foi adicionada manualmente, com auxílio de um pincel número zero, uma quantidade extra de pólen. Para cada flor marcada, foi utilizado pólen de outra flor recém aberta, de pés diferentes.

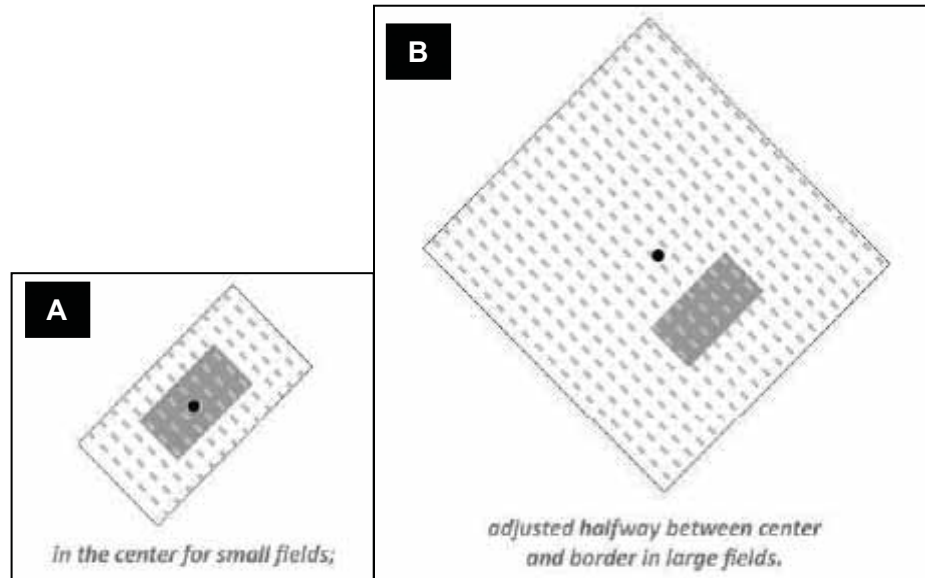
Figura 8 – Detalhe da flor de berinjela, salientando a heterostilia. **A.** Flor brevestila, com o estigma (seta) localizado abaixo do cone de anteras. **B.** Flor longestila (seta), cujo estigma encontra-se acima do cone de anteras.



O desenho experimental foi padronizado, guiando o protocolo proposto por Vaissière et al. (2009), em que o menor cultivo disponível (com 600 pés) foi usado como ponto de referência. Portanto, nos demais cultivos presentes foram utilizados os 600 pés localizados mais ao centro da plantação (Figura 9A), ou quando esta foi muito maior, o ponto central foi deslocado, para compreender os mesmos efeitos de borda que sofrem os cultivos menores (Figura 9B).

Para a classificação dos frutos, após a colheita, eles foram pesados com auxílio de uma balança marca Pezola (1 kg) e o comprimento e diâmetro foram medidos com auxílio de um paquímetro digital.

Figura 9 – Esquema de padronização do desenho experimental segundo o protocolo para detectar e estimar déficits de polinização em cultivos (VAISSIÈRE et al., 2009). **A.** Localização dos experimentos em cultivos menores. **B.** Localização dos experimentos nos cultivos maiores.



Fonte: Vaissière et al. (2009)

A porcentagem de frutos formados foi comparada entre os diferentes tratamentos e entre as propriedades. Os frutos formados também foram comparados quanto ao peso e tamanho. Para tanto foi empregado o sistema de classificação usual (LUENGO et al., 1999), segundo a qual são definidas três classes de tamanho de acordo com o comprimento e diâmetro transversal:

- ✓ **Classe Graúda:** frutos com comprimento igual ou superior a 19,0 cm e com diâmetro igual ou superior a 7,0 cm;
- ✓ **Classe Média:** frutos com comprimento entre 16,0 cm e 19,0 cm e com diâmetro igual ou superior a 6,0 cm;
- ✓ **Classe Miúda:** frutos com comprimento que variam entre 14,0 cm a 16,0 cm e diâmetro transversal com medida igual ou superior a 5,0 cm.

Frutos com medidas inferiores às apresentadas na classe miúda não são considerados adequados para o consumo comercial. Como Gemmill-Herren e Ochieng (2008) encontraram uma relação positiva entre o número de sementes e o peso dos frutos, nas análises estatísticas foi utilizada apenas a medida de peso dos frutos como indicativo da eficiência da polinização.

1.3.4 Caracterização da fauna apícola

A amostragem das abelhas foram realizadas durante o segundo pico de florescimento do cultivo, uma vez por semana, durante quatro semanas, totalizando 16 horas de coleta em cada área. As abelhas foram capturadas nas flores de berinjela e nas flores das plantas ruderais próximas à plantação, sempre em dias claros, das 6:00h às 17:20h, ou das 7h às 18:20, quando em horário de verão.

Para realizar a coleta de abelhas o coletor percorreu os corredores entre duas linhas de plantio, parando em pontos que compreendiam grupos de até seis pés de cada lado, onde permaneceu por cerca de cinco minutos, após o qual seguiu por mais seis pés, durante os vinte primeiros minutos de cada hora – ou seja, em intervalos de quarenta minutos, totalizando um esforço amostral de 4 horas de coleta/dia.

As abelhas que visitaram as flores nesse período foram observadas e o comportamento na flor foi descrito. Então, foram capturadas com auxílio de puçá, mortas com acetato de etila e armazenadas em câmara fria, separadamente em frascos etiquetados.

Em laboratório, cada abelha coletada foi montada em alfinete entomológico e identificada até o menor nível taxonômico possível, por comparação com espécies já identificadas de outros projetos ou com auxílio da chave de identificação de Silveira et al. (2002). As abelhas pertencentes à subtribo Meliponini foram identificadas pela taxonomista Dra. Sílvia Regina de Menezes Pedro, e foram incluídas em coleção de referência localizada no Laboratório de Biologia Comparada e Evolutiva de Abelhas, na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, SP - USP. As duplicatas, juntamente com os demais indivíduos coletados, foram armazenadas em uma coleção apícola, localizada no Laboratório do Grupo de Estudos em Ecologia e Conservação de Abelhas Silvestres, no departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro – SP.

Simultaneamente à amostragem de abelhas nas flores de berinjelas, foram realizadas observações e coletas de abelhas em flores da vegetação ruderal que cresce em torno dos cultivos. Para isso, utilizou-se o mesmo procedimento de coleta empregado para as flores de berinjelas.

Em função da necessidade de dias propícios para a coleta, o intervalo de tempo entre duas coletas consecutivas foi, em algumas ocasiões, superior a sete dias.

1.3.5 Identificação e quantificação de elementos importantes para a permanência de polinizadores nas áreas de estudo

As plantas ruderais, onde foram amostradas as abelhas durante visita na flor, foram coletadas, montadas em exsicatas e identificadas com auxílio de um guia de plantas daninhas (LORENZI, 1991).

Para identificar e quantificar elementos importantes para a presença de polinizadores nas áreas de estudo foi realizado um mapeamento, com base no uso e ocupação do solo das mesmas.

As áreas estudadas estão situadas nos limites dos municípios de Corumbataí, Rio Claro e Limeira, no interior do Estado de São Paulo (Figura 3), apresentando um contexto fortemente voltado aos setores agrícola, pastoril e de silvicultura. Apesar de existirem grandes extensões dominadas pela monocultura, algumas regiões ainda exibem um elevado grau de heterogeneidade na paisagem, o que exige o uso de ferramentas adequadas para a identificação de tais atributos. Para esse estudo, foram utilizadas imagens de satélite, as quais foram tratadas com auxílio do *software* de GIS (Geographic Information System) - ArcGIS 9.3, que permitiu determinar o uso e ocupação do solo, bem como os tipos de coberturas presentes na região.

Para a identificação das diferentes fisionomias da paisagem foi utilizado um conjunto de imagens ALOS (Advanced Land Observing Satellite), obtidas gratuitamente a partir do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BRASIL, INPE; s/a), as quais possuem resolução espacial (tamanho do pixel) equivalente a 10 metros. Essa resolução apresenta um bom detalhamento, que possibilita uma clara visualização do uso e ocupação do solo. A escala escolhida para o mapeamento foi 1:10.000, considerada adequada para tal finalidade e para o grau de refinamento desejado.

O número de classes de cobertura a serem identificadas em uma paisagem depende de como os organismos em estudo respondem a essas diferentes fisionomias. Por esse modo, dentre os diferentes atributos que a paisagem pode apresentar as classes de uso dos solos adotadas para o processo de mapeamento

nesse estudo, foram estabelecidas através do conhecimento da biologia e ecologia das espécies alvo dessa pesquisa; as abelhas. O quadro 1 apresenta as classes de uso dos solos identificadas nas áreas de estudo.

Quadro 1 – Classes de paisagem utilizadas no mapeamento desse estudo.

Classe de cobertura	Descrição
Água	Corpos d'água naturais ou artificiais, como lagos, lagoas e rios.
Fragmento Florestal	Área de remanescente florestal (somando-se fase inicial, média e avançada).
Pastagem Limpa	Área destinada à pastagem, com pouca ou nenhuma vegetação que não seja gramínea.
Pastagem Suja	Área destinada à pastagem mas que apresenta arbustos e arbóreos em sua fisionomia.
Citricultura	Área destinada à produção de citrus (laranja, limão, etc.)
Silvicultura	Área destinada à produção de culturas para extração de madeira, óleo ou látex.
Outras culturas	Culturas de porte reduzido, basicamente utilizadas para subsistência ou comércio local.
Cerca Viva	Área de vegetação utilizada como delimitação das propriedades.
Áreas Construídas	Caracterizadas pelas cidades, loteamentos e construções em ambientes rurais.
Cana-de-açúcar	Área destinada ao cultivo de cana-de-açúcar para produção de açúcar ou álcool.

Fonte: Ribeiro et al. (2012)

O mapeamento das regiões estudadas foi realizado em um raio de cinco quilômetros, a partir do ponto central do cultivo de berinjelas. A partir daí, as áreas foram caracterizadas nas escalas de 1000 m, 750 m, 500 m e 250 m. A escolha das escalas foi baseada no raio de forrageamento das abelhas, o qual pode variar de acordo com o tamanho do corpo (GATHMANN; TSCHARNTKE, 2002; GREENLEAF et al., 2007).

Para cada área, foram identificadas as classes de cobertura do solo, bem como o número e a porcentagem de cada classe presente nas escalas estudadas.

Também foram calculados os índices de diversidade de Shannon (SDHI), com base no uso e ocupação do solo, para cada escala. A porcentagem das diferentes classes de uso dos solos foi obtida no *software* Microsoft Excel 2011 e o índice de diversidade de Shannon (SDHI) foi calculado com auxílio do *software* Fragstats 4.3.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, A.; DIRZO, R. Effects of fragmentation on pollinator abundance and fruit set of an abundant understory pal in a Mexican tropical forest. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 141, n. 2, p. 375-384, 2008.

AIZEN, M. A.; FEINSINGER, P. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in a Chaco dry forest, Argentina. **Ecology**, Tempe, Ariz., US, v. 75, p. 330-351, 1994.

ALLEN-WARDELL, A. G.; BERNHARDT, P.; BITNER, R.; BURQUEZ, A.; BUSHMANN, S.; CANE, J.; COX, P. A.; DALTON, V.; FEINSINGER, P.; INGRAM, M.; INOUE, D.; JONES, C. E.; KENNEDY, K.; KEVAN, P.; ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 71, p. 355-366, 1998.

AVANZI, M. R.; CAMPOS, M. J. O. C. Estrutura de guildas de polinização de *Solanum aculeatissimum* Jacq. E. S. *Variable* Mart. (Solanaceae). **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 57, p. 247-256, 1997.

BATÁRY, P.; BÁLDI, A.; SÁROSPATAKI, M.; KOHLER, F.; VERHULST, J.; KNOP, E.; HERZOG, F.; KLEIJN, D. Effect of conservation management on bees and insect-pollinated grassland plant communities in three European countries. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, NL, v. 136, p. 35-39, 2010.

BENEVIDES, C. R.; GAGLIANONE, M. C.; HOFFMANN, M. Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, SP, v. 53, n. 3, p. 415-421, 2009.

BIESMEIJER, J. C.; ROBERTS, S. P. M.; REEMER, M.; OHLEMÜLLER, R.; EDWARDS, M.; PEETERS, T.; SCHAFFERS, A. P.; POTTS, S. G.; KLEUKERS, R.; THOMAS, C. D.; SETTELE, J.; KUNIN, W. E. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, Washington, DC, US, v. 313, p. 351-354, 2006.

BRASIL. Instituto de Economia Agrícola. **Área e produção dos principais produtos da agropecuária**. 2011. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1>. Acesso em: 15 out 2012.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens de sensoriamento remoto**. s/a. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Acesso em: 17 jan 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **International Pollinators Initiative: the São Paulo Declaration on Pollinators**, São Paulo, 1999. Disponível em: <www.biodiv.org/doc/case-studies/agr/cs-agr-pollinator-rpt.pdf>. Acesso em: 13 set 2011.

BREITBACH, N.; TILLMANN, S.; SCHLEUNING, M.; GRÜNEWALD, C.; LAUBE, I.; STEFFAN-DEWENTER, I.; BÖHNING-GAESE, K. Influence of habitat complexity and landscape configuration on pollination and seed-dispersal interactions of wild cherry trees. **Oecologia**, Berlim, DE, v. 2011.

BRITTAİN, C.; BOMMARCO, R.; VIGHI, M.; SETTELE, J.; POTTS, S. G. Organic farming in isolated landscapes does not benefit flower-visiting insects and pollination. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 143, p. 1860-1867, 2010.

BROSI, B. J. The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, NL, v. 258, p. 1830-1837, 2009.

CAMPOS, M. J. O.; PIZANO, M. A.; CHAUD NETO, J.; MALASPINA, O.; PATRICIO, G. B.; GOMIG, E. G.; LEUNG, L. R.; SOUZA, L.; GIORDANO, L. C.; VILLAS-BOAS, J. K.; PRATA, E. M. B.; FERREIRA, B.; BROWN, T. E.; FANG, H. S.; SASAKI, D. L.; SOUZA, E. S. S. Manejo agrícola e conservação de abelhas com potencial para a polinização de tomateiros. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planos de Manejo dos Subprojetos: Uso sustentável e restauração da diversidade de polinizadores autóctones na agricultura e nos ecossistemas relacionados**. Brasília, *no prelo*, p. 367-397.

CAMPOS, M. J. O.; PIZANO, M. A.; MALASPINA, O.; GIORDANO, L.; LEUNG, R.; CHAUD-NETO, J.; GOMIG, E. G.; PRATA, E. PATRICIO, G. B.; FERREIRA, B.; FANG, H.; SILVA, E. Manejo Agrícola e Riqueza de polinizadores. In: Encontro sobre abelhas, 7º, 2006, Ribeirão Preto, SP. Anais... [s. L.: s. n.]. 1 CD-Room.

CARVALHEIRO, L. G.; SEYMOUR, C. L.; VELDTMAN, R.; NICOLSON, S. W. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 47, p. 810-820, 2010.

CARVELL, C.; OSBORNE, J. L.; BOURKE, A. F. G.; FREEMAN, S. N.; PYWELL, R. F.; HEARD M. S. Bumble bee species' responses to a targeted conservation measure depend on landscape context and habitat quality. **Ecological Applications**, Tempe, Ariz., US, v. 21, n. 5, p. 1760-1771, 2011.

CHEN, N. C. Eggplant seed production. Disponível em:
<<http://avrdc.org/LC/eggplant/eggplantseed.pdf>>. Acesso em: 15 mar 2010.

CHEN, N. C.; LI, H. M. Cultivated and seed production of eggplant. Disponível em:
<http://203.64.245.61/fulltext_pdf/eam0124.pdf>. Acesso em: 15 mar 2010.

CORBET, S. A. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European community. **Bee World**, Bucks, Inglaterra, GB, v. 72, p. 47-59. 1991.

CRANMER, L.; McCOLLIN, D.; OLLERTON, J. Landscape structure influences pollinator movements and directly affects plant reproductive success. **Oikos**, Copenhagen, DK, p. 01-07, 2011.

CUNNINGHAM, S. A. Depressed pollination in habitat fragments causes low fruit set **Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**, London, GB, v. 267, p. 1149-1152, 2000.

D'ARCY, W. G. Flora of Panama. Fam. Solanacea. **Annals of Missouri Botanical Garden**, Lawrence, Kansas, v. 60, p. 73-78, 1973.

DANFORTH, B. N.; SIPES, S.; FANG, J.; BRADY, S. G. The history of early bee diversification based on five genes plus morphology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, USA, v. 103, 1p. 5118-15123, 2006.

DAVIS, E. S.; MURRAY, T. E.; FITZPATRICK, U.; BROWN, M. J. F.; PAXTON, R. J. Landscape effects on extremely fragmented populations of a rare solitary bee, *Colletes floralis*. **Molecular Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 19, p. 4922-4935, 2010.

DENNIS, R. L. H.; EALES, H. Patch occupancy in *Coenonympha tullia* (Lepidoptera: Satyridae): habitat quality matters as much as patch size and isolation. **Journal of Insect Conservation**, Holanda, NL, v. 1, p. 167-176, 1997.

DENNIS, R. L. H.; EALES, H. Probability of patch site occupancy in *Coenonympha tullia* (Muller) (Lepidoptera:Satyrinae) determined from geographical and ecological data. **Biological Conservation**, Inglaterra, GB, v. 87, p. 295-301, 1999.

DIDHAM, R. K.; GHAZOUL, J.; STORK, N. E.; DAVIS, A. J. Insects in fragmented forests: a functional approach. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, NL, v. 11, p. 255-260, 1996.

DOVER, J.; SETTELE, J. The influences of landscape structure on butterfly distribution and movement: a review. **Journal of Insect Conservation**, Holanda, NL, v. 13, p. 3-27. 2009.

EARDLEY, C.; IMPERATRIZ – FONSECA, V. L. South America / Africa regional collaboration in bee research. In: Encontro sobre abelhas, 5º, 2002, Ribeirão Preto. Anais, p.85-86.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235pp.

FÉON, V. L.; SCHERMANN-LEGIONNET, A.; DELETTRE, Y.; AVIRON, S.; BILLETER, R.; BUGTER, R.; HENDRICKX, F.; BUREL, F. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: a large scale study in four European countries. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, NL, v. 137, p. 143-150, 2010.

FILGUEIRA, F. A. R. Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças. **Agronômica Ceres**, v.2, 375pp., 1982.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986. 619 pp.

GATHMANN, A.; TSCHARNTKE, T. Foraging ranges of solitary bees. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 71, p. 757-764, 2002.

GEMMILL-HERREN, B.; OCHIENG, A. O. Role of native bees and natural habitats in eggplant (*Solanum melongena*) pollination in Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, NL, v.127, p. 31-36, 2008.

GAZOUL, J. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, NL, v. 20, n. 7, p. 367-373, 2005.

GIANNINI, T. C; ACOSTA, A. L.; GARÓFALO, C. A.; SARAIVA, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling**, Amsterdam, N. L., v. 244, p. 127-131, 2012.

GONÇALVES, M. C. R.; DINIZ, M. F. F. M. D.; BORBA, J. D. C.; NUNES, X. P.; BARBOSA-FILHO, J. M. Berinjela (*Solanum melongena* L.) – mito ou realidade no combate as dislipidemias? **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, SP, v. 16, n. 2, p. 252-257, 2006.

GONZÁLEZ-VARO, J. P.; ARROYO, J.; APARICIO, A. Effects of fragmentation on pollinator assemblage, pollen limitation and seed production of Mediterranean myrtle (*Myrtus communis*). **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 142, p. 1058-1065, 2009.

GREENLEAF, S. S.; WILLIAMS, N. M.; WINFREE, R.; KREMEN, C. Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, Berlin, DE, v. 153, n. 3, p. 589-596, 2007.

GRIBEL, R. Pollination Ecology and pollination management in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex. Spreng. Schum., STERCULIACEAE), an Amazonian fruit-tree of promising economic importance. In: BRASIL (Ministério do Meio Ambiente). **Pollinators management in Brazil**, Brasília, DF. 2008. p. 14-17.

GUEDES, R. S.; ZANELLA, F. C. V.; MARTINS, C. F.; SCHLINDWEIN, C. Déficit de polinização da aceroleira no período seco no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 33, n. 2, p. 465-471, 2011.

GUERRA, A. M. N. M.; CUNHA NETO, J. R.; MARQUES, J. V. A. D.; PESSOA, M. F.; MARACAJÁ, P. B. Plantas medicinais e hortaliças usadas para cura de doenças em residências da cidade de Mossoró – RN. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v. 2, n. 1, p. 70-77, 2007.

HANNON, L. E.; SISK, T. D. Hedgerows in an agri-natural landscape: potential habitat value for native bees. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 142, p. 2140-2154, 2009.

HARRIS, L. D. **The fragmented forest: island biogeography theory and the preservation of biotic diversity**. Chicago: University of Chicago. 1984. 229 p.

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Paulo Alto, Calif., US, v. 44, p. 183-206, 1999.

HEYWOOD, V. H. **Flowering plants of the world**. New York: Oxford Univ. Press, 396pp., 1993.

HOLZSCHUH, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? **Journal of Animal Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 79, p. 491-500, 2010.

HOLZSCHUH, A.; DUDENHÖFFER, J.-H.; TSCHARNTKE, T. Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 153, p. 101-107, 2012.

INGRAM, M.; NABHAN, G. C.; BUCHMANN, S. L. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. **Tropinet**, Wooster, OH, USA, v. 7, p. 1, 1996.

KARP, D. S.; ROMINGER, A. J.; ZOOK, J.; RANGANATHAN, J.; EHRLICH, P. R.; DAILY, G. C. Intensive agriculture erodes β -diversity at large scales. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 15, p. 963-970, 2012.

KEARNS, C.; INOUE, D.; WASER, N. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, Calif., US, v. 29, p. 83-112, 1998.

KERR, W. E.; CARVALHO, G. A.; NASCIMENTO, V. A. **Abelha Uruçu: Biologia, Manejo e Conservação**. Belo Horizonte: Acangaú, 143pp. 1996.

KEVAN, P. G.; PHILIPS, T. P. The economic impact of pollinator declines: an approach to assessing consequences. **Conservation in Ecology**, Dubuque, Iowa, v. 5, n. 1, [s. p.]. 2001. Disponível em <www.consecol.org/vol5/iss1/art8>. Acesso em: 27 jul 2010.

KILL, L. H. P. Assessment of mango (*Mangifera indica* L., ANACARDIACEAE) and passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* DEG., PASSIFLORACEAE) pollinators in the San Francisco Valley, northeastern Brazil. In: BRASIL (Ministério do Meio Ambiente). **Pollinators management in Brazil**, Brasília, DF. 2008. p. 36-37.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**, London, GB, v. 270, p. 955-961, 2003a.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 40, p. 837-845. 2003b.

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

KLEIN, A. M.; BRITAIN, C.; HENDRIX, S. D.; THORP, R.; WILLIAMS, N.; KREMEN, C. Wild pollination services to California almond rely on semi-natural habitat. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 49, p. 723-732, 2012.

KOWALSKA, G. Flowering biology of eggplant and procedures intensifying fruit set – review. **Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus**, v. 78, n.4, p. 63-76, 2008.

KOTLIAR, N. B.; WIENS, J. A. Multiple scales of patchiness and patch structure: a hierarchical framework for the study of heterogeneity. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 59, p. 253-260, 1990.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; THORP, R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, USA, v. 99, n. 26, p. 16812-16816, 2002.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; BUGG, R. L.; FAY, J. P.; THORP, R. W. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. **Ecology Letters**, Oxford, GB v. 7, p. 1109-1119, 2004.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; AIZEN, M. A.; GEMMILL-HERREN, B.; LEBUHN, G.; MINCKLEY, R.; PACKER, L.; POTTS, S. G.; ROUSTON, T.; STEFFAN-DEWENTER, I.; VÁZQUEZ, P.; WINFREE, R.; ADAMS, L.; CRONE, E. E.; GREENLEAF, S. S.; KEIT, T. H.; KLEIN, A.; REGETZ, J.; RICKETTS, T. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 10, p. 299-214, 2007.

KREWENKA, K. M.; HOLZSCHUH, A.; TSCHARNTKE, T.; DORMANN, C. F. Landscape elements as potential barriers and corridors for bees, wasps and parasitoids. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 144, p. 1816-1825, 2011.

LENTINI, P. E.; MARTIN, T. G.; GIBBONS, P.; FISCHER, J.; CUNNINGHAM, S. A. Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: Maintaining mosaics of natural features and production. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 149, p. 84-92, 2012.

LIOW, L. H.; SODHI, N. S.; ELMQVIST, T. Bee diversity along a disturbance gradient in tropical lowland forests of south-east Asia. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 38, p. 180-192, 2001.

LOCATELLI, E.; MACHADO, I. C.; MEDEIROS, P. **Riqueza de Abelhas e a Flora Apícola em um Fragmento da Mata Serrana (Brejo de Altitude) em Pernambuco, Nordeste do Brasil.** Disponível em: <http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/floraapicola/76_riqueza_abejas_bosque_serrano_pernambuco_basil.pdf>. Acesso em: 22 nov 2009.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil:** terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. Nova Odessa, SP: Plantarum, 1991. 440pp.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; LANA, M. M.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Classificação de Hortaliças**, Embrapa Hortaliças, Brasília, 61pp. 1999.

MANDELIK, Y.; WINFREE, R.; NEESON, T.; KREMEN, C. Complementary habitat use by wild bees in agro-natural landscapes. **Ecological Applications**, Tempe, Ariz., US, v. 22, n. 5, p. 1535-1546, 2012.

MATHESON, A.; BUCHMANN, S. L.; O'TOOLE, C.; WESTRICH, P.; WILLIAMS, I. H. (Ed.). **The conservation of bees**. London: Academic Press, 254pp. 1996.

McGARIGAL, K; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: Department of Agriculture, 122 pp. 1995.

MICHENER, C.D. **The Bees of the World**. Baltimore: John Hopkins UP. 913pp. 2000.

ÖCKINGER, E.; SMITH, H. G. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. **The Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 44, p. 50-59, 2007.

OLIVEIRA, P. E. Sustainable management of pollinators for passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* DEG., PASSIFLORACEAE) production in Central Brazil. In: BRASIL (Ministério do Meio Ambiente). **Pollinators management in Brazil**, Brasília, DF. 2008. p. 36-37.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 120, p. 321-326, 2011.

PATON, A. J.; BRUMMITT, N.; GOVAERTS, R.; HARMAN, K.; HINCHCLIFFE, S.; ALLKIN, B.; LUGHADHA, E. N. Towards target one of the global strategy for plant conservation: a working list of all known plant species – progress and prospects. **Taxon**, Utrecht, Holanda, NL, v. 57, p. 602-611, 2008.

PATRICIO, G. B. **O efeito da heterogeneidade de habitats sobre as interações planta – polinizador em uma região da bacia do rio Corumbataí – SP**. 77f. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/ Zoologia). Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro.

PATRICIO, G. B.; GOMIG, E. G. Habitat heterogeneity and pollinators: bees in fragmented landscapes (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**, Chico, Calif., US, v. 52, n. 3, p. 605-618, 2008.

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

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W. E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, NL, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.

POWELL, A. H.; POWELL, G. V. N. Population dynamics of male *Euglossine* bees in 1987 Amazonian Forest Fragmentes. **Biotropica**, Washington, DC, US, v. 19, n. 2, p. 176-179, 1987.

QUAGLIOT, L. Floral biology of *Capiscum* and *Solanum melongena*. In: HAWKES, J. G.; LESTER, R. N.; SKELDING, A. D. (Eds.). **The biology and taxonomy of the Solanaceae**. London: Academic Press, 1979, v.1, n.7, cap. 32, p. 399-419.

RATHCKE, B. J.; JULES, E. S. Habitat fragmentation and plant-pollinator interactions. **Current Science**, Bangalore, Índia, v. 65, p. 273-77, 1993.

RIBEIRO, M.C.; BERNARDES, R.; BORGES, D.B.; RIBEIRO, J.W.; KANDA, C.Z.; FREGONEZI, G.L.; PRADO, H.A.; FERREIRA, M.K.; MAGLIOLI, M.; SETZ, E.Z.F., ROMEIRO, A.; RODRIGUES, M.G. 2012. **Modelagem ecológica do corredor das onças para fins de pagamento por serviços ambientais utilizando ecologia de paisagens**. Relatório técnico, Rio Claro – SP. 2012.

RICHARDS, A. J. Does Low Biodiversity Resulting from Modern Agricultural Practice Affect Crop Pollination and Yield. **Annals of Botany**, London, GB, v. 88, p. 165-172, 2001.

RICKETTS, T.H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crop. **Conservation Biology**, Boston, Mass., US, v. 18, p. 1262-1271, 2004.

RISSE, P. G. Landscape ecology: state-of-the-art. In: TURNER, M.G. (ed.) **Landscape heterogeneity and disturbance**. New York: Springer-Verlag, 1987. p. 3-14.

ROUBIK, D. W. Large Processes With Small Targets: Rarity and Pollination in Rain Forests. In: ROUBIK, D. W.; SAKAI, S.; HAMID, A. A. (Eds.) k. **Pollination Ecology and the Rain Forest**. Sarawak, Borneo: Springer, 2005. Cap. 1, p. 1-12. Disponível em: http://sipddr.si.edu/dspace/bitstream/10088/12150/1/stri_Roubik_rain_forest_pollination_2005.pdf. Acesso em: 01 jun 2012.

RYLSKI, I.; NOTHMANN, J.; ARCAN, L. Differential fertility in short-styled eggplant flowers. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, NL, v. 22, p. 39-49, 1984.

SARUKHÂN, J.; WHYTE, A. **Relatório – síntese da avaliação ecossistêmica do milênio**. [s. L.: s. n.]. 57pp. 2005. Disponível em: www.millenniumassessment.org/documents/documente.446.aspx.pdf. Acesso em: 27 jun 2007.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, Boston, Mass., US, v. 5, p. 18-32, 1991.

SCHELHAS, J. GREENBERG, R. **Forest patches in tropical landscapes**. California: Island Press. 1996. 498 p.

SCHOONHOVEN, L. M.; JERMY, T.; VAN-LOON; J. J. A. (Orgs.) **Insect-Plant Biology: From Physiology to Evolution**. London, New York: Chapman & Hall, 1998.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. B. **Abelhas brasileiras: sistemática e identificação**. Belo Horizonte: Fernando A. Silveira. 2002. 253p.

SIQUEIRA, K. M. M.; KIILL, L. H. P.; MARTINS, C. F.; LEMOS, I. B.; MONTEIRO, S. P.; FEITOZA, E. A. Ecologia da polinização do maracujá-amarelo, na região do vale do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 31, n. 1, p. 1-12, 2009.

SOUSA, J. H.; PIGOZZO, C. M.; VIANA, B. F. Polinização de manga (*Mangifera indica* L. - Anacardiaceae) variedade tommy atkins, no vale do São Francisco, Bahia. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 165-173, 2010.

STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Effects of habitats isolation on pollinator communities and seed set. **Oecologia**, Berlin, DE, v. 121, p. 432-440, 1999.

STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Insect communities and biotic interactions on fragmented calcareous grasslands - a mini review. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 104, p. 275-284, 2002.

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

STEFFAN-DEWENTER, I., POTTS, S. G.; PACKER, L. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, NL, v. 20, p. 651-652, 2005.

THOMAS, J. A. The large blue butterfly – a decade of progress. **British Wildlife Publishing**, Gillingham, UK, v. 1, p. 22-27, 1999.

THOMAS, C. D.; WILSON, R. J.; LEWIS, O. T. Short-term studies underestimate 30-generation changes in a butterfly metapopulation. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**, London, GB, v. 269, p. 563-569, 2002.

TSCHARNTKE, T.; BRANDL, R. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. **Annual Review of Entomology**, Stanford, Conn., US, v. 49, p. 405-430, 2004.

TSCHARNTKE, T.; KLEIN, A. M.; KRUESS, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; THIES, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 8, p. 857-874, 2005.

TSCHULIN, T.; NEOKOSMIDIS, L.; PETANIDOU, T.; SETTELE, J. Influence of landscape context on the abundance and diversity of bees in Mediterranean olive groves. **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, Inglaterra, GB, v. 101, p. 557-564, 2011.

TURNER, M. G. Landscape Ecology in North America: past, present, and future. **Ecology (Durham)**, Tempe, Ariz., US, v. 86, n. 8, p. 1967-1974, 2005.

VAISSIÈRE, B. E.; FREITAS, B.; GEMMILL-HERREN, B. **Protocol to detect and assess pollination deficits in crops** – version 1. Food and agriculture organization of the United Nation, Rome, 35p, 2009.

VAUGHAN, M.; BLACK, S. H. Native pollinators: how to protect and enhance habitat for native bees. **Native Plants**, Claremont, Calif., US, v. 9, n. 2, p. 80-92, 2008.

VENTURIERI, G. C. Floral Biology and management of stingless bees to pollinate assai palm (*Euterpe oleracea* Mart., ARECACEAE). In: BRASIL (Ministério do Meio Ambiente). **Pollinators management in Brazil**, Brasília, DF. 2008. p. 10-13.

VERGARA, C. H.; BADANO, E. I. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: The importance of rustic management systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, NL, v. 129, p. 117-123, 2009.

VIANA, F. B.; BOSCOLO, D.; MARIANO NETO, E.; LOPES, L. E.; LOPES, A. V.; FERREIRA, P. A.; PIGOZZO, C. M.; PRIMO, L. A polinização no contexto da paisagem: o que de fato sabemos e o que precisamos saber? In: IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; CANHOS, D. A. L.; ALVES, D. A.; SARAIVA, A. M. (Orgs.). **Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo: Edusp, 2012. Cap. 3, p. 67-102.

VIEIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Efeito do estresse hídrico no solo sobre a produção da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, n. 2, v. 4, p. 29-33, 1996.

WASER, N. M.; OLLERTON, J. (Eds.) **Plant-pollinator Interactions: from specialization to generalization**. Chicago, Chicago: University of Chicago Press, 441pp., 2006.

WATSON, J. C.; WOLF, A. T.; ASCHER, J. S. Forested Landscapes Promote Richness and Abundance of Native Bees (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) in Wisconsin Apple Orchards. **Environmental Entomology**, College Park, Md., US, v. 40, n. 3, p. 621-632, 2011.

WESTPHAL, C.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 6, p. 961-965, 2003.

WILLIAMS, I. H. The dependences of crop production within the European Union on pollination by honey bees. **Agricultural Zoology Reviews**, Russel, GE, v. 6, p. 229-257, 1994.

WILLIAMS, C. S. Conserving Europe's bees: why all the buzz? **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, NL, v. 10, n. 8, p. 309-310, 1995.

WINFREE, R. The conservation and restoration of wild bees. **Annals Of The New York Academy Of Sciences**, New York, US, v. 1195, p. 169-197, 2010.

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

YAMAMOTO, M.; BARBOSA, A. A. A. Polinizadores do maracujá amarelo no triângulo mineiro. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu, **Anais eletrônicos...** Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007, p. 1-2. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br/viiiiceb/pdf/1224.pdf>>. Acesso em: 06 nov 2012.

YAMAMOTO, M.; SILVA, C. I.; AUGUSTO, S. C.; BARBOSA, A. A. A.; OLIVEIRA, P. E. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. **Apidologie**, Versailles, FR, v. 43, p. 515-526, 2012.

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

CAPÍTULO 2

The Importance of Bees for Eggplant Cultivations (Hymenoptera: Apidae, Andrenidae, Halictidae)

Patricio, G. B.; Grisolia, B. F.; Desuó, I. C.; Montagnana, P. C.; Brocanelli, F. G.;
Gomig, E. G.; Campos, M. J. O.

Artigo publicado na revista Sociobiology, v. 59, n. 3, p. 1037-1052, 2012

Redigido segundo as normas do periódico

The Importance of Bees for Eggplant Cultivations (Hymenoptera: Apidae, Andrenidae, Halictidae)

by

Gleiciani Bürger Patricio¹; Bruno Barufatti Grisolia¹; Ivan Cesar Desuó²; Paula Carolina Montagnana¹; Felipe Gonçalves Brocanelli¹; Elizandra Goldoni Gomig¹ & Maria José de Oliveira Campos¹

ABSTRACT

The increasing demand for food and the “Pollination crisis” have emphasized the importance of better understanding the potential of different wild bee species for pollinating crops. The aim of this study was to investigate how dependent *Solanum melongena* L. is on bees for fruit production and if it is possible to observe any insufficiency of pollination in four (two organic and two conventional) eggplant cultivations. Bee samplings were performed during the eggplant’s peak flowering. Three pollination tests (T1= without insect visitation; T2= free insect visitation; T3= Pollen complementation) were carried out in order to evaluate the importance of bees for fruit setting in *S. melongena* L. Most of the bee species collected on eggplant flowers were buzz-pollinators – *Bombus*, *Xylocopa*, *Exomalopsis*, *Centris*, *Oxaea* and many species of Halictidae, and can promote the eggplant pollination. *Trigona* sp. and *Apis mellifera* were also collected on flowers, but they can’t vibrate their anthers, although *Apis* presented a flying adaptation while visiting the flowers and eventually can pollinate the flowers. Most of the unvisited flowers (T1) failed to form fruits and when it happened, those ones were much lighter and smaller than those formed from flowers of T2 and T3; demonstrating the importance of bees for eggplant pollination. No statistical differences were found between the weight of eggplants in T2 vs. T3 within each area, however, the weight of fruits from T2 tests varied and differed significantly between the four studied areas. Our results indicated no pollen insufficiency in the studied areas, although the use of pesticides may disrupt crop-pollinator interactions, which may cause pollination insufficiency. Furthermore, land management seems to be a factor that determines efficiency of pollination in agricultural landscapes and ensures pollination services in cropped areas.

¹Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, UNESP, Campus Rio Claro, SP, Brazil, gleipatricio@gmail.com, CEP:13506-900, (5519) 35269115.

²Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP, Campus Rio Claro, SP, Brazil, CEP:13506-900, (5519) 35264298.

INTRODUCTION

In Tropical Regions, about 25% of crops are considered dependent on bees for pollination and, consequently, for fruit setting and economically viable seeds (Heard 1999; Richards 2001). In a global scale, it is suggested that one third of the food consumed by humans depends directly or indirectly on pollinators (Williams 1995; Klein *et al.* 2007; Ollerton *et al.* 2011).

In the past decades, many species of pollinators have disappeared from agricultural areas (Allen-Wardell *et al.* 1998; Corbet 1991; Kearns *et al.* 1998; Kevan & Phillips 2001; Steffen-Dewenter *et al.* 2005; Williams 1994), in particular the population of honeybees, which has declined all around the world. In North America, at the end of the 90s, this decline was so abrupt that the abundance of pollinators was significantly reduced when compared with any period over the past fifty years (Allen-Wardell *et al.* 1998). In fact, in the early 90s, the IUCN/SSC (World Conservation Union/ Species Survival Commission - committee responsible for formalizing the extinction of species) estimated for the next decades, a worldwide loss of more than 20,000 species of plants; this loss was largely attributed to the decline of co-dependent pollinators (Heywood 1993).

The increasing demand for food and the “Pollination crisis”, which could affect food production all around the world, have emphasized the importance of better understanding the potential of different wild bee species on pollinating crops (Hein 2009).

The knowledge about pollinator species related to a crop is the first step for the land management in order to preserve the services of pollination. Many species of cultivated plants have particular traits, which demand different pollinators with different size and foraging behavior for a proper pollination, (e.g. eggplants) (*Solanum melongena* L.). Like most plant species of genus *Solanum*, eggplants have poricidal anthers, which require specialized behavioral and morphological adaptations by potential pollinators (Avanzi & Campos 1997). In this species, the length of stamens is about one centimeter, with very short filaments and long bright yellow anthers; each one presenting two apical pores. Effective eggplant pollinators can acquire pollen by vibrating the anthers.

S. melongena L. is native to the tropical regions of Asia and has been cultivated for centuries by Arabs and Chinese. Its consumption is increasing mainly in Europe and the United States (Vieira *et al.* 1996), where it represents an important crop.

In Brazil, the consumption of this vegetable has increased due to the medicinal properties attributed to the eggplant (Gonçalves *et al.* 2006; Guerra *et al.* 2007) as well as its

nutritional content. According to the data of CEASA – Campinas (2007), the production of eggplants in the State of São Paulo (Brazil) reaches 47,549 tons/year and is responsible for generating more than one thousand jobs.

Given the importance of eggplant cultivation, both in terms of nutrition and economic value, and considering the increasing need for alternatives that guarantee the sustainability of agricultural systems, more studies are required in order to obtain more information on the composition of pollination guilds, pollination efficiency, as well as the pollinators' responses to land management. In this study we aimed to answer two main questions: (1) how dependent is *S. melongena* on bees for fruit production? (2) Is it possible to observe any insufficiency of pollination in eggplant plantations?

MATERIAL AND METHODS

Study areas

The studies on the importance of bees to fruit set and the effects of crop management to fruit quality were conducted in two organic and two conventional commercial plantation of *Solanum melongena* L., Napoli cultivar, located in São Paulo State, Brazil (Table 1). The Köppen climate classification of the region is “Cwa” (humid subtropical climate with dry and mild winters from April to September and warm and wet summers, from October to March) (Teixeira 2004).

Sampling of bees

Samplings were performed in sunny days, between 7:00 and 18:00 h, during the peak of flowering period, in a total of 48 hours in each area. The collector walked along a line through the plantation and observed groups of six flowering plants at a time, for about 5 to 10 minutes. Visiting bees were observed and their behavior in flowers was recorded. They were then collected with an entomological net, killed in ethyl acetate, dry mounted and identified until genus. We used Silveira *et al.* (2002) key to identify the bees.

Table 1. Crop management, localization, number of specimens cultivated and period of study in the four studied areas.

Area: Localization (Crop management)	Coordinates	Studied Period	Number of plants on cropped area
I: Corumbataí (Conventional)	22° 13' 15.33" S 47° 37' 18.95" O	February to April, 2010	2000
II: Corumbataí (Conventional)	22° 14' 29.34" S 47° 36' 40.04" O	September to November, 2010	1000
III: Limeira (Organic)	22° 34' 57.00" S 47° 27' 36.95" O	May to July, 2010	600
IV: Ajapí (Organic)	22° 18' 39.46" S 47° 32' 29.55" W	September to November, 2011	600

Pollination Tests

In order to evaluate the importance of bees for fruit formation in *S. melongena* and to identify insufficiency of pollination in the crops, a series of tests (T1, T2 and T3) were carried out. In order to standardize the experimental design, the tests were conducted in plots positioned in the center of each cropped area and delimited with six hundred specimens of eggplants, thus using the smaller plantation as reference (Vaissière *et al.* 2009).

All tests were realized during the peak of eggplant's flowering. For each test, 50 flower buds in pre-anthesis stage were used. Only long-styled flowers were included. In T1 (without insect visitation), buds were bagged one day before anthesis and flowers remained covered for one week to avoid visitation by insects during the fertile period. Flowers were then uncovered, marked on the pedicel and the fruit development was observed for one month after when they were harvested. In T2 (free insect visitation) flower buds were marked in the pedicel and left uncovered, free to insect visitation; fruit formation was observed for a month until ripening when the fruits were then harvested. In T3 (pollen complementation), the treatment was the same as in T2, except that extra pollen were deposited on the stigma of each flower around 48 hours post-anthesis, with the aid of a brush.

All the fruits formed in these tests were harvested, weighed and had the largest diameter and length measured.

Data analysis

Since there is a positive correlation between the number of seeds and the weight in eggplants (Gemmill-Herren & Ochieng 2008), the weight of the fruits was used to indicate pollination efficiency.

Data were log transformed to minimize the effects of variability. In order to verify if

there was statistical difference among the mean weight of eggplants in the experiments, a two-way ANOVA and *a posteriori* Tukey HSD t-test were performed, in which the factors considered were the different treatments (free insect visitation [T2] vs. pollen complementation [T3]) and the different areas. This analysis allowed two different approaches: (1) to compare the mean weight of eggplants between the two treatments in each area separately and consequently to test the hypothesis of pollination insufficiency; (2) to compare the mean weight of T2 among areas in order to verify the effect of a specific land management on the weight of the eggplants and, consequently, on the pollination efficiency.

RESULTS

Sampling of bees

The specimens of bees collected in flowers of eggplants are presented in Table 2. Most of the visiting bees collected on eggplant flowers are species that can perform buzz pollination by vibrating the tubular anthers and releasing pollen through apical pores, such as those of *Bombus*, *Xylocopa*, *Exomalopsis*, *Centris*, *Oxaea* and many species of Halictidae. *Apis mellifera* and *Trigona* sp. are not able to vibrate their anthers - they collect pollen fallen on petals. *Trigona* sp. can also chew the peak of the anthers and *Apis mellifera*, besides collecting the pollen fallen in flowers, presents a flying adaptation in which they release the pollen by grasping the tip of the anther's cone and flying up and down shaking the flower.

Pollination Tests

Table 3 presents the percentage of fruit formed in the different treatments (T1, T2 and T3) and the mean weight, diameter and length of the fruits harvested in four study areas, while Table 4 and Fig. 1 and 2 present comparisons between the mean weight of formed fruits in the different tests (T2 vs. T3) within each study area and the comparisons between those values for fruits formed in the free insect visitation test (T2) in different studied areas.

Table 2. Number of bee specimens collected on eggplants (*S. melongena* L.) flowers and its pollen gathering behavior.

Bees eggplant flowers visitors	Pollen gathering behavior	Number of individuals			
		Area I	Area II	Area III	Area IV
ANDRENIDAE					
<i>Oxaea</i> sp.	Vibrating	2	1	1	4
APIDAE					
<i>Apis mellifera</i>	Thieves	7	1	1	1
<i>Bombus</i> sp.	Vibrating	24	-	1	1
<i>Centris</i> sp.	Vibrating	1	-	-	1
<i>Centris</i> sp.1	Vibrating	3	-	-	-
<i>Epicharis</i> sp.	Vibrating	1	-	-	-
Euglossinae	Vibrating	1	-	1	1
<i>Exomalopsis</i> sp.	Vibrating	2	10	23	4
<i>Thygater</i> sp.	Vibrating	-	-	5	-
<i>Trigona</i> sp.	Thieves	6	10	10	12
<i>Xylocopa</i> sp.	Vibrating	4	15	1	3
HALICTIDAE	Vibrating	2	18	6	9

- =Absence of bees.



Fig.1. Top: Fruit produced from T2 test (free insect visitation); Bottom: fruits produced from bagged flowers (T1).

Table 3: Percentage of formed fruits and mean weight, diameter and length of fruits formed in different pollination tests and in different studied areas.

Areas	T1				T2				T3			
	% FF	W (g)	D (cm)	L (cm)	% FF	W (g)	D (cm)	L (cm)	% FF	W (g)	D (cm)	L (cm)
I	8	162.5	6.63	17.13	84	386.5	8.46	23.68	100	368.44	8.13	23.23
II	2	-	-	-	98	242.41	7.07	22.57	94	218.51	6.7	20.93
III	14	149.29	5.81	17.07	96	302.29	7.30	22.80	86	301.74	7.15	23.11
IV	0	-	-	-	82	492.14	8.02	25.26	72	535.39	8.53	26.46

T1: without insect visitation test; T2 = free insect visitation test; T3 = pollen complementation test; % FF= percentage of fruit set; W = weight (g); D = diameter and L = length (cm), - = none or only one fruit formed (no mean value).

Table 4. Comparisons of the mean weight of fruit set in different tests (T2 and T3) within each study area and comparisons of those values for fruit set in (T2) among those areas (two-way Anova and *a posteriori* test Tukey HSD t-test; T1 = without insect visitation test; T2 = free insect visitation test; T3 = pollen complementation test)

<i>Within each área</i>			
	T2 mean±sd(n)	T3 mean±sd(n)	Tukey HSD p<0,05
I	386.50±85,14(40)	368.44±75,00(48)	ns
II	242.40±59,33(49)	218.51±67,42(47)	ns
III	302.29±119,13(48)	301.74±105,09(42)	ns
IV	492.14±108,47(26)	535.38±151,23(26)	ns
<i>Among áreas (T2)</i>			
I vs. II			*
I vs. III			*
I vs. IV			*
II vs. III			*
II vs. IV			*
III vs. IV			*

Ns – no statistical significance

*Tukey HSD p<0.05

Most of the bagged flowers (T1) failed to form fruits and when it happened, those fruits were much lighter and smaller than those formed from flowers left free for bee visitation or with pollen complementation (T2 and T3, respectively, Table 3, Fig. 1). The percentage of fruit set in T2 (free insect visitation) and T3 (pollen complementation) were quite expressive in all properties (Table 3). However, when comparing T2 and T3 at area I, it is possible to observe an increase in the percentage of fruits formed from pollen complementation (T3).

The results of statistical analyses are shown in Table 4 and Fig. 2. The two-way ANOVA showed that at least one of the comparisons involving the two factors studied (different treatments and different areas) was statistically significant ($F=43.78$; $p<0.001$).

Tukey t-test for multiple comparisons was performed and the following results were found: (1) no statistical differences in the mean weight of eggplants were found between T2 and T3 within each area, suggesting no pollen insufficiency in the studied areas; (2) the mean weight of fruits formed from T2 differed significantly among areas, and the eggplants were heavier in the area IV (Ajapí: Organic). Such results suggest that land management affects significantly the weight of eggplants and the pollination efficiency.

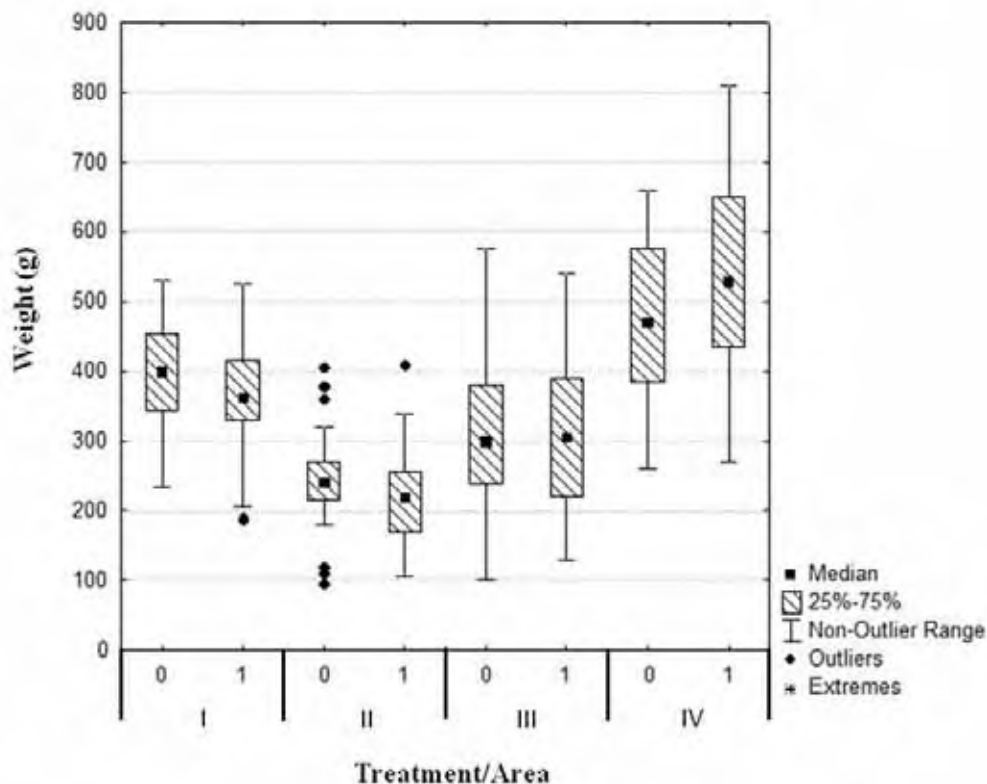


Figure 2. Boxplots indicating the distribution of weights of eggplants collected for analyzes. It is possible to visualize that within the same area no significant differences were found between free visitation test (0) and pollen complementation test (1). However, a significant variation on the weight of eggplants was found among areas (I, II, III and IV) when (1) was compared.

DISCUSSION

Many of the bee species collected in *S. melongena* flowers can be considered potential pollinators for this crop. In all of studied areas, we observed a predominance of bees capable of handling the anthers of eggplant flowers in a proper way, promoting the sonication of the anther's cone (King & Buchmann 2003) and the deposition of pollen grains on the surface of the stigma. Among them, large bees (Romero *et al.* 2011) such as those of *Bombus*, *Xylocopa*,

Centris, *Epicharis* and *Oxaea* genus and small bees (Romero *et al.* 2011) such as *Exomalopsis* and many Halictidae species are included (Table 2).

The importance of these bee species to pollination of other species of *Solanum* was reported by different authors and is related to their ability to manipulate the poricid anthers, and also the large time spent in flower manipulation. Halictidae and bees of genus *Exomalopsis* are reported to vibrate each anther separately (Avanzi & Campos 1997; Forni-Martins *et al.* 1998; Bezerra & Machado 2003), but the simultaneous sonication of the entire anther cone, promoted by large bees, is considered to be more effective (Carvalho *et al.* 2001; Bezerra & Machado 2003; Gomig *et al.* 2007).

Despite *A. mellifera* and bees of genus *Trigona* being considered thieves of pollen and not very effective in eggplant pollination, the described behavior of *A. mellifera*, which flies up and down, very close to the flower, waving the anthers, can be somewhat effective in eggplant pollination. Amoako & Yeboa-Gyan (1991) reported that the pollination of tomatoes, peppers and eggplants by *A. mellifera* could increase the weight of fruits, if compared to those fruits formed without bee pollination.

Pollination tests emphasized the importance of bees for fruit setting in *S. melongena*. The exclusion of pollinator visits, by bagging flowers, induced flower drop and resulted in only a few fruits (Table 3), many of them, small and malformed (Fig. 1). Rylski *et al.* (1984) pointed out, that some of the fruits observed in pollinator exclusion experiments could be produced by parthenocarp and, in these cases, small and malformed fruits should be expected.

By contrast, the percentage of fruits formed from flowers, which received bee visitation (T2) or bee visitation plus pollen complementation (T3), was very high in all the four studied areas (Table 3). Gomig (2007) observed very similar results, but Montemor & Souza (2009) found a comparatively high percentage of fruit setting in flower bagging experiments (20%) and an unexpected low percentage of fruits formation in free visited flowers (40%). In this case, the authors didn't specify the length of stigma flowering during the tests.

S. melongena is a hetero-styled species (the flowers present short and long styles) and short-styled flowers rarely form fruits; on the other hand, about 90% of long-styled flowers result in well-formed fruits (Rylski *et al.* 1984; Kowalska, 2006). The use of short-styled flowers in the pollination tests could result in a low percentage of fruit set, even in free visitation or pollen complementation experiments.

Pollen complementation did not result in an increase in fruit setting success (Table 3)

or in heavier fruits (Table 4, Fig. 2), which suggests that probably, there is no pollination insufficiency in the studied sites. The only exception occurred in area I, which pollen complementation resulted in an increase in the percentage of fruit setting success. In the other areas it was possible to observe a decrease in the percentage of fruit setting when extra pollen was deposited on stigma (T3). Stephenson (1981) reported that, in many plant species, a high level of pollination efficiency may cause an increase in fruit abortion rate, justified by the allocations of resources only to a few fruits, ensuring better fruit development and more viable seeds.

In Area I, the pollen complementation tests (T3) resulted in an increase in the percentage of fruit formation (100%), compared to the free insect visitation tests (T2, 84%), which could suggest that pollination services can be insufficient in this area. On the other hand, there was no significant difference in mean weight of the fruits formed in T2 vs. T3 (Table 4, Fig. 2), and the abundance of bumblebees in the area was very high - bees of genus *Bombus* are considered the most efficient pollinators of *S. melongena* (Aback *et al.* 1995; Kowalska 2006, 2008; Gemmill-Herren & Ochieng 2008; Montemor & Souza 2009).

Although the presence of effective pollinators in Area I suggests a higher level of pollination, pesticides, especially insecticides, were frequently used in this area, even during eggplant flowering periods. Pesticides can cause changes in foraging behavior of bees, by decreasing the visitation rate, the time spent in flowers or even the amount of transferred pollen grains. Behavioral changes such as those were described for honeybees and bumblebees with sub lethal doses of insecticides (Thompson & Hunt 1999; Bortolotti *et al.* 2003; Yang *et al.* 2008). Thompson (2003) found that the oral administration of insecticides induced errors in the wagtail dance in *Apis*, with consequent failure in the communication of the position of food sources. According to this author, insecticides can also repel bees from flowers and disturb their orientation.

Brittain *et al.* (2010) found that the successive application of pesticides in cropped areas was followed by a decrease in richness and abundance of bee species. Despite the intensive use of insecticides, Area I presented the more diversified fauna of visiting bees. To better understand the relationship between pesticide use, fauna diversity and pollination effectiveness, an investigation of the history of cleaning and other disturbances in the area will be necessary.

The mean weight of eggplant fruits formed from flowers that received free visitation of bees (T2) varied significantly among different areas (Table 4, Fig.2). Since in this study we tried to understand the effects of land management on the relationship between cropped areas

and pollinator services, we did not interfere with agricultural practices in any of studied areas. Thus, many factors may be related to this high variability, such as the nutritional status of plants, pest control and soil irrigation.

Considering the importance of bees for fruit setting and the effects of the use of pesticides on bee foraging behavior, in this study, we emphasized the aspect of crop management.

Fruits formed in Area II presented the smaller mean weight, although no significant difference was observed when fruits formed in T2 were compared to those formed in T3 (Table 4; Fig. 2). During the period of this study, no pesticides were used; however, the use of insecticides in the crops, which occupied the area before eggplant cultivation, may have affected the bee fauna in that area.

Another aspect to be considered is the soil management. Despite the fact that the needs of eggplant crops in terms of soil nutrition are well known (Chen & Li 1996), no soil nutrition or pH corrections were observed in that area. The same soil management was observed in Area III. If the amount of nutrients necessary to supplement growth of eggplants was applied to this area, it would be possible to observe an increase in the mean weight of the fruits.

In Area IV, on the other hand, where cropping follows organic techniques and management, nutrients are provided by organic fertilization. Furthermore, the manager allows plants, which constitute pollen and nectar sources for bees, to grow around the planted area and provides nesting sites for bees, such as decayed wood, bare ground and bamboo clumps. These practices contribute to the maintenance of bees around cropped areas, even in periods when there is no flowering crop (Campos *et al.* 2006; Goulson *et al.* 2008). In this area, the percentage of the fruits formed in the T2 experiment was smaller (Table 2 - 82%) when compared to the other areas, however, the mean weight of the fruits was the highest, indicating a higher pollination efficiency (Table 4, Fig.2).

The relatively small percentage of fruit set in T2 in Area IV (Table 3) can be related to the presence of herbivores, such as *Diabrotica speciosa* (Coleoptera), which eats the stigmas and causes a great number of flower and fruit abortions. Kessler (2011) reported that in *Solanum peruvianum* (Solanaceae), volatile organic compounds, released after attack by herbivores, could repel other insects and interfere in pollinator-plant interactions and consequently on fruit setting. Another aspect to be considered is the presence of leaf cutting ants in the area; these ants cut off fruits in different development stages.

Since this is an organic farm, it is common to observe a greater diversity of insects associated with the crops. However, in Area IV, the manager commonly reaps the fruits 15

days after the opening of flowers, in contrast to the other areas, where the fruit harvest is performed at about 30 days after flower opening. The faster fruit development indicates that the area and soil management, together, can promote a more effective harvest and contributes to pollinator conservation.

CONCLUSION

The present study pointed out the importance of bees in promoting good yields in eggplant crops. Land management seems to be a factor that determines a better efficiency of pollination in agricultural landscapes, ensuring the supply of pollination services in cropped areas.

Good practices may enhance the establishment of viable populations of pollinators in the fields, but other practices, such as the continuous use of pesticides, can disrupt the crop–pollinator interactions by changing the composition of bee communities and the foraging behavior of bees, which may cause pollination insufficiency. Although there is research supporting that these changes are possible, most studies were conducted in laboratory conditions. So, it is still necessary to investigate the effects of pesticides on the foraging behavior of bees (duration of visits and flower manipulation behavior) under field conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support of CAPES and CNPq. We also give special thanks to the owners of the studied areas: Mr. Josué Oliveira, Mr. Vanderlei Canhone and the directory of APAE (Limeira) for their permission and cooperation in the studies. We finally acknowledge Matheus M. Roberto, Iêda and Benedito Ap. Patricio for field support.

REFERENCES

- Aback, K., N. Sari, M. Paksoy, O. Kaftanoglu & H. Yeninar 1995. Efficiency of bumble bees on the yield and quality of eggplant and tomato grown in unheated glasshouses. *Acta Horticulturae* 412:268-274.

- Allen-Wardell, A.G., P. Bernhardt, R. Bitner, A. Burquez, S. Bushmann, J. Cane, P.A. Cox, V. Dalton, P. Feinsinger, M. Ingram, D. Inouye, C.E. Jones, K. Kennedy, P. Kevan & H. Andr  n 1998. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat. *Oikos* 71:355-366.
- Amoako, J., K. & Yeboa-Gyan 1991. Insecto pollination of three solanaceous vegetable crops in Ghana with special reference to the hole of African honey bee (*Apis mellifera adansonii*) for fruit set. *Acta Horticulturae* 288:255-259.
- Avanzi, M.R. & M.J.O. Campos 1997. Estrutura de guildas de poliniza  o de *Solanum aculeatissimum* Jacq. e *S. variabile* Mart. (Solanaceae). *Revista Brasileira de Biologia* 57(2):247-256.
- Bezerra, E.L.S. & I.C. MACHADO 2003. Biologia floral e sistema de poliniza  o de *Solanum stramonifolium* jacq. (Solanaceae) em remanescente de mata Atl  ntica, Pernambuco. *Acta Botanica Brasilica* 17(2):247-257.
- Bortolotti, L., R. Montanari, J. Marcelino, P. Medrzycki, S. Maini & C. Porrini 2003. Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. *Bulletin of Insectology* 56(1):63-67.
- Brittain, C.A., M. Vighi, R. Bommarco, J. Setteled & S.G. Potts 2010. Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology* 11:106-115.
- Campos, M.J.O., M.A. Pizano, O. Malaspina, L. Giordano, R. Leung, J. Chaud-Neto, E.G. Gomig, E.M.B. Prata, G.B. Patricio, B. Ferreira, H. Fang & E.S. Silva 2006. Manejo Agr  cola e Riqueza de polinizadores. VII Encontro sobre abelhas, 7o, 2006, Ribeir  o Preto. Anais... [s. L.: s. n.]. 1 CD-Rom.
- Carvalho, C.A.L., O.M. Marques, C.A. Vidal & A.M.S. Neves 2001. Comportamento forrageiro de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em flores de *Solanum Paniculatum* Dunal (Solanaceae). *Revista Brasileira de Zooci  ncias* 3:35-44.
- CEASA-Campinas 2007. Padroniza  o/ berinjela. Available in: www.ceasacampinas.com.br. Accessed in February 11th of 2012.
- Chen, C. & H.M. LI, H. 1996. Cultivation and seed production of eggplant. Asian Vegetable Research and Development Center. 12pp. 1996. Dispon  vel em: http://203.64.245.61/fulltext_pdf/eam0137.pdf>. Acesso em: 15 set. 2011.
- Corbet, S.A. 1991. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European community. *Bee World* 72:47-59.
- Forni-Martins, E.R, M.C.M. Marques & M.R. Lemes 1998. Biologia floral e reprodu  o de *S. paniculatum* L. (Solanaceae) no estado de S  o Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Bot  nica* 21(2):117-124.
- Gemmill-Herren, B. & A.O. Ochieng 2008. Role of native bees and natural habitats in eggplant (*Solanum melongena*) pollination in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127:31-36.

- Gomig, E.G. 2007. Caracterização da fauna de abelhas silvestres com potencial de polinização de berinjela (*Solanum melongena* L.) cultivada em sistema orgânico. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ecologia). Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, Brasil: 31-37.
- Gonçalves, M.C.R., M.F.F.M. Diniz, J.D.C. Borba & X.P. Nunes, J.M. Barbosa-Filho 2006. Berinjela (*Solanum melongena* L.) – mito ou realidade no combate as dislipidemias? *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 16(2):252-257.
- Goulson, D., G.C. Lye & B. Darvill 2008. Decline and Conservation of Bumble Bees. *The Annual Review of Entomology* 53:191-208.
- Guerra, A.M.N.M., J.R.C. Neto, J.V.A.D. Marques, M.F. Pessoa & P.B. Maracajá 2007. Plantas medicinais e hortaliças usadas para cura de doenças em residências da cidade de Mossoró – RN. *Revista* 2(1):70-77.
- Heard, T.A. 1999. The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review of Ecology and Systematics* 44:183-206.
- Hein, L. 2009. The Economic Value of the Pollination Service, a Review Across Scales. *The Open Ecology Journal* 2:74-82.
- Heywood, V.H. 1993. Flowering plants of the world. New York: Oxford Univ. Press, 396pp.
- Kearns, C., D. Inouye & N. Waser 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29:83-112
- Kessler, A., R. Halitschke & K. Poveda 2011. Herbivory-mediated pollinator limitation: negative impacts of induced volatiles on plant-pollinator interactions. *Ecology* 92(9):1769-1780
- Kevan, P.G. & T.P. Phillips 2001. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. *Conservation Ecology* 5(1): 8. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art8/>
- King, J. & S.L. Buchmann 2003. Floral sonication by bees: mesosomal vibration by *Bombus* and *Xylocopa*, but not *Apis* (Hymenoptera:Apidae), ejects pollen from poricidal anthers. *Journal of the Kansas Entomological Society* 76(2):295-305.
- Klein A-M., B.E. Vaissière, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen & T. Tscharntke. 2007. Importance of crop pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 274:303-313.
- Kowalska, G. 2006. Eggplant (*Solanum melongena* L.) flowering and fruiting dynamics depending on pistil type as well as way of pollination and flower harmonization. *Horticulturae* 18(1):17-29.
- Kowalska, G. 2008. Flowering biology of eggplant and procedures intensifying fruit set – review. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 7(4):63-76.

- Montemor K.A. & D.T.M. Souza 2009. Biodiversidade de polinizadores e biologia floral em cultura de berinjela (*Solanum melongena*). *Zootecnia Tropical* 27(1):97-103.
- Ollerton, J., R. Winfree & S. Tarrant 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321-326.
- Richards, A.J. 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Annals of Botany* 88:165-172.
- Romero, G.Q., P.A.A. Antiqueira & J. Koricheva 2011. A Meta-analysis of predation risk effects on pollinator behaviour. *Plos One* 6(6) /e20689:1-9.
- Rylski, I., J. Nothmann & L. Arcan 1984. Differential fertility in short-styled eggplant flowers. *Scientia Horticulturae* 22:39-49.
- Silveira, F.A., G.A.R. Melo & E.A.B. Almeida 2002. Os grupos de abelhas presentes na fauna brasileira. *In*: Silveira F.A. (ed.). *Abelhas brasileiras : sistemática e identificação*. Belo Horizonte: 7-182.
- Steffan-Dewenter, I., S.G. Potts & L. Packer 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution* 20:651-652.
- Stephenson, A.G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 12:253-279.
- Teixeira, A.P. 2004. Análise de uma floresta paludosa no Município de Rio Claro, SP: florística, estrutura, organização espacial da comunidade e seletividade de espécies. [Thesis]. [Rio Claro (SP)]: Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista p.86.
- Thompson, H.M. 2003. Behavioural effects of pesticides in bees - their potential for use in risk assessment. *Ecotoxicology* 12:317-330.
- Thompson, H.M. & L.V. Hunt 1999. Extrapolating from Honeybees to Bumblebees in Pesticide Risk Assessment. *Ecotoxicology* 8(3):147-166.
- Vaissière, B.E., B. Freitas & B. Gemmill-Herren 2011. Layout of experimental sites. *In*: Vaissière, B.E., B. Freitas & B. Gemmill-Herren (eds.) *Protocol to detect and asses pollination deficits in crops: a handbook for its use*. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, 29-30.
- Vieira, A.R., L.R. Angelocci & K. Minami 1996. Efeito do estresse hídrico no solo sobre a produção da berinjela (*Solanum Melongena* L.). *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 2(4):29-33.
- Williams, I.H. 1994. The dependences of crop production within the European Union on pollination by honey bees. *Agricultural Zoology Reviews* 6:229-257.

- Willians, C.S. 1995. Conserving Europe's bees: why all the buzz? *Tree* 10(8):309-310. Yang, E.C., Y.C. Chuang, Y.L. Chen, & L.H. Chang 2008. Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology* 101(6):1743-1748.



CAPÍTULO 3

A importância do contexto da paisagem e do manejo da área para os polinizadores de berinjela e para a produtividade dos cultivos

RESUMO

Sabe-se que as alterações no ambiente, como a conversão de áreas naturais em pastagens, áreas cultivadas ou mesmo construídas, levam à perda de vegetação natural e conseqüentemente, diminuem as fontes de recursos disponíveis para abelhas, o que pode ameaçar a sobrevivência das espécies. O manejo e conservação dos habitats no entorno de áreas cultivadas podem ser fundamentais para garantir a presença dos polinizadores e assegurar a produtividade dos cultivos. Este trabalho procurou abordar, de maneira integrada, os fatores que interferem na presença dos polinizadores e na produtividade dos cultivos, tais como a configuração da paisagem e os elementos nela presentes em diferentes escalas e formas de manejo das áreas cultivadas. Foi testada a hipótese de que paisagens mais diversificadas, manejadas de modo a garantir uma maior complexidade de habitats, exercem influência sobre o número de espécies de polinizadores presentes nas áreas cultivadas. Esse estudo foi conduzido em quatro áreas com cultivos de berinjelas (duas orgânicas e duas convencionais). Estudos prévios demonstraram que a berinjela é altamente dependente da visita de abelhas para a formação de frutos. Durante o segundo pico de florescimento, foram realizadas coletas de abelhas visitantes das flores de berinjela. Os indivíduos coletados foram identificados até o menor nível taxonômico possível. As áreas estudadas foram mapeadas quanto ao uso e ocupação do solo. Foram identificados elementos da paisagem importantes para a conservação de abelhas, como número e porcentagem de fragmentos, habitats secundários, outros cultivos, etc. A configuração paisagem e o manejo da área foram fatores importantes para a presença de abelhas nas áreas cultivadas. Os resultados mostraram ainda que a diversidade da paisagem está positivamente relacionada com o número de espécies de abelhas nas áreas cultivadas. A presença de vegetação nativa, associadas ao manejo, na escala de 500m também se mostraram fatores importantes para as abelhas.

Palavras-chave: *S. melongena*, abelhas, polinização, paisagem, manejo, conservação.

3.1 **INTRODUÇÃO**

As abelhas apresentam hábitos de vida variados, que englobam desde modo de vida solitário até altamente social, envolvendo hábitos de alimentação, acasalamento e nidificação diversificados, que implicam na necessidade de habitats também diversificados (CAMPOS et al., *no prelo*; MICHENER, 2000; SILVEIRA et al., 2002).

Em relação ao uso de recursos alimentares e de sítios de nidificação, os grupos de abelhas podem ser classificados em generalistas ou especialistas. Os grupos que possuem hábitos especialistas requerem, muitas vezes, adaptações morfológicas e comportamentais especializados. O forrageamento de pólen oferece bons exemplos disso: abelhas coletoras de pólen de plantas com anteras poricidas (e.g. plantas da família Solanaceae), por exemplo, são capazes de vibrar as anteras por meio da vibração da musculatura torácica, o que faz com que o pólen seja liberado (CAMPOS et al., *no prelo*; MICHENER, 2000).

Independente do hábito de vida das abelhas, para que elas se estabeleçam em uma área, são necessárias condições ideais de sítios de nidificação, que compreendem cavidades pré-existentes, troncos de madeira em decomposição, barrancos, galerias abaixo do solo, entre outros, além de materiais específicos para a construção do ninho, como folhas, óleos e resinas e sítios de alimentação, os quais devem fornecer fontes de pólen e néctar (CAMPOS et al., *no prelo*; MICHENER, 2000). Esses recursos devem, ainda, estar acessíveis dentro da área de vida ou do raio de voo de cada espécie (WESTRICH, 1996).

Abelhas solitárias com tamanho corpóreo pequeno, por exemplo, dependem de características dos habitats imediatamente próximos a seus sítios de nidificação (RATHCKE; JULES, 1993; STEFFAN-DWENTER; TSCHARNTKE, 1999; STEFFAN-DWENTER et al., 2002) e, apesar do raio de forrageamento das abelhas maiores chegar a cerca de seis quilômetros (GREENLEAF et al., 2007) a partir da localização do ninho, a maioria se movimenta nos arredores dele, com uma média de 300m de raio (ZURBUCHEN et al., 2010).

Alguns tipos de habitat, geralmente pouco utilizados pela agricultura ou expansão urbana, tais como brejos e dunas de interior, podem conter todos os recursos utilizados pelas fêmeas de determinadas espécies e, nesses casos, o raio

de deslocamento não ultrapassa os limites desses habitats. No entanto, os recursos utilizados pelas abelhas, principalmente pelas espécies generalistas, que visitam várias espécies de flores para a coleta de recursos florais ou ainda que utilizem vários recursos para a construção do ninho, podem se encontrar dispersos pela paisagem e exigir grandes deslocamentos, muitas vezes por meio de uma matriz inóspita (WESTRICH, 1996). A perda de um desses habitats, utilizados para a captação de apenas um recurso que seja utilizado por determinada espécie de abelha, pode levar à extinção da população.

Sabe-se que as alterações no ambiente, como a conversão de áreas naturais em pastagens, áreas cultivadas ou mesmo construídas, levam à perda de vegetação natural e conseqüentemente, diminuem as fontes de recursos disponíveis para abelhas, o que pode ameaçar a sobrevivência das espécies. Muitos autores relataram que a diminuição da vegetação natural, o aumento da distância entre os fragmentos e o isolamento dos cultivos em relação a áreas cultivadas são, em parte, responsáveis pelo declínio dos polinizadores (ALLEN-WARDELL et al., 1998; CARVALHEIRO et al., 2010; GONZÁLES-VARO et al., 2009; HOLZSCHUH et al., 2012; KREMEN et al., 2004; LENTINI et al., 2012; PATRICIO, 2007; RATHCKE; JULES, 1993; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 1999).

Um dos primeiros estudos a relacionar a perda de espécies de polinizadores com as alterações no habitat foi realizado por Williams (1982), que observou um declínio, a partir da década de 1960, em algumas espécies do gênero *Bombus*, nas regiões da Inglaterra, País de Gales e Escócia, em um gradiente Sul-Norte. Nesse período, o desenvolvimento urbano, pecuário e industrial promoveu grandes mudanças no uso da terra nas regiões estudadas. Essas alterações foram atribuídas pelo autor como responsáveis pela perda de habitats e diminuição do número de plantas visitadas por essas abelhas.

Didham et al. (1996) salientaram que a diminuição da riqueza e abundância de algumas espécies de polinizadores, principalmente de abelhas, em áreas tropicais e temperadas, estão relacionadas com o processo de fragmentação de áreas naturais e a formação de pequenos fragmentos florestais isolados entre si. Os autores relataram ainda que as espécies mais especialistas foram mais susceptíveis às alterações nos habitats do que as espécies mais generalistas. Dentro desse contexto, deve-se considerar em quais escalas essas alterações ocorrem, pois espécies mais especialistas forrageiam em uma escala de habitat mais restrita, ou

seja, em torno da localidade dos recursos específicos, florais e de nidificação utilizados por elas, e por tanto, apresentam pouca flexibilidade para se adaptarem a mudanças no ambiente.

Kremen et al. (2007) propuseram um modelo conceitual, em que as alterações nas comunidades de polinizadores encontram-se fortemente relacionadas às mudanças nas práticas de uso do solo. Esses autores encontraram que em uma escala menor, em nível de habitat, o uso do solo e práticas de manejo afetam a composição de plantas da comunidade local, seus polinizadores e os fatores bióticos e abióticos, que interferem em ambos os grupos. Os efeitos de alterações ambientais nessa escala levam à criação de uma estrutura de paisagem, que consiste em diferentes tipos de habitats (natural, seminatural e antropogênico), os quais influenciam diferentemente todas as comunidades.

A importância de contextos de paisagem mais diversificados, bem como a presença de vegetação nativa e ambientes favoráveis para a polinização, como fontes variadas de alimento, por exemplo, tem sido relatada por vários autores (KEARNS et al., 1998; KLEIN et al., 2007; KREMEN, 2004; KREMEN et al., 2007; STEFFAN-DEWENTER et al., 2001; 2002; WESTPHAL, 2003).

Além disso, a qualidade dos habitats em torno dos fragmentos de vegetação nativa é outro fator a ser considerado, uma vez que o entorno pode abrigar recursos florais e sítios de nidificação complementares (CANE et al., 2006; ELTZ et al., 2002). Patricio (2007) observou que a presença de vegetação nativa, em uma escala de 600 m foi mais importante do que a complexidade da paisagem para o sucesso reprodutivo de *Solanum viarum* Dun. (Fam. Solanaceae). Nas áreas onde a porcentagem de cobertura dos solos por remanescentes de mata era mais expressiva, a produção de frutos e sementes de *S. viarum* Dun. foi maior.

Paisagens mais diversificadas e de melhor qualidade no entorno de áreas cultivadas são igualmente importantes para a presença de polinizadores. Garibaldi et al. (2011) analisaram dados de 29 estudos em biomas naturais e cultivados e confirmaram que a distância dos cultivos em relação a áreas naturais e a qualidade dessas áreas exercem influência positiva na riqueza de visitantes florais, na taxa de visitação e na formação de frutos. A mesma relação, por exemplo, também foi encontrada para cultivos de maracujá amarelo, no estado do Rio de Janeiro (BENEVIDES et al., 2009).

Sabatino et al. (2010) discutem a partir de um estudo na região dos Pampas

na Argentina, que em áreas com fortes influências antrópicas, pequenas regiões protegidas por lei, apresentaram um alto índice de diversidade em uma rede de polinizadores. Por ser uma área protegida, são realizadas medidas simples de conservação, como redução das áreas de pastagens e diminuição das queimadas, que segundo os autores, podem garantir a presença dessa rede de insetos, importante para a manutenção da flora nativa e principalmente, da fauna de polinizadores nos cultivos próximos.

O manejo e conservação dos habitats no entorno de áreas cultivadas podem ser fundamentais para garantir a presença dos polinizadores e assegurar a produtividade dos cultivos. Quando o objetivo é a conservação de abelhas em áreas cultivadas, deve-se considerar todos os elementos presentes nos arredores da plantação, os quais possam suprir as necessidades dos polinizadores. São elementos importantes, fontes de água, como lagos, córregos e rios, sítios de nidificação, e principalmente fontes complementares de pólen e néctar, que podem se constituir nas plantas ruderais que crescem em ambientes secundários ou mesmo entre as linhas de cultivos (CAMPOS et al., *no prelo*).

De fato, Hagen e Kraemer (2010) encontraram maior riqueza de espécies de abelhas visitantes florais em bordas de florestas e áreas cultivadas, quando comparadas com áreas de mata nativa. Nesse caso, as plantas ruderais presentes nos ambientes mais perturbados forneceram recursos alimentares para as abelhas durante todo o ano.

A manutenção de espécies da flora ruderal visando o forrageamento de polinizadores em potencial exige certa atenção do produtor, pois em muitos casos, as plantas ruderais podem ser nocivas para o cultivo; algumas espécies são consideradas invasoras, outras podem abrigar algumas doenças ou mesmo competir pelos polinizadores (CAMPOS et al., *no prelo*). Porém, se manejadas adequadamente, podem garantir a presença das abelhas nos período de entressafra, por exemplo. Além disso, a manutenção dessa flora no entorno dos cultivos pode fornecer outros benefícios, como auxiliar no controle de pragas, melhorar a qualidade do solo, auxiliando no escoamento de água e mesmo protegê-lo contra a erosão (WRATTEN et al., 2012).

Este estudo procurou abordar, de maneira integrada, os fatores que interferem na presença dos polinizadores e na produtividade dos cultivos, tais como a configuração da paisagem e os elementos nela presentes em diferentes escalas a

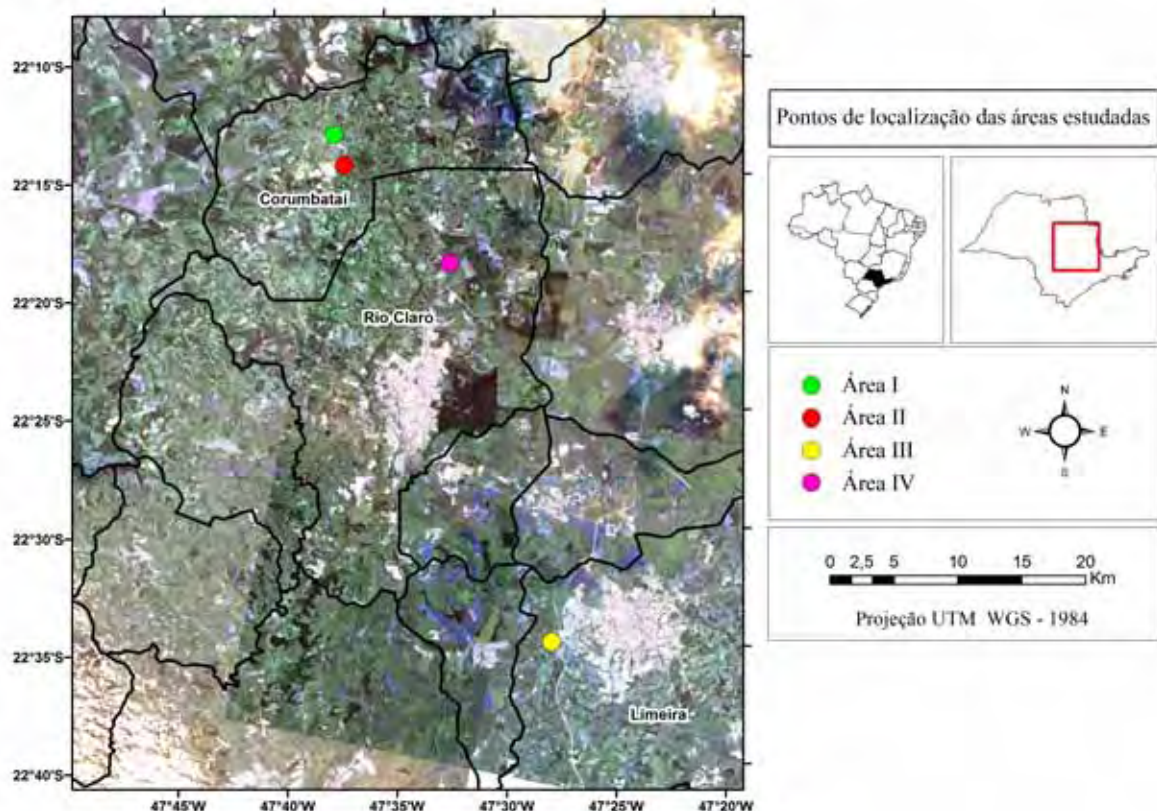
partir do ponto central de cultivos de berinjelas e as formas de manejo das áreas cultivadas. Foi testada a hipótese de que paisagens mais diversificadas, manejadas de modo a garantir uma maior complexidade de habitats, exercem influência positiva sobre o número de espécies de polinizadores presentes nas áreas cultivadas.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Áreas estudadas e período do estudo

As áreas estudadas estão situadas nos limites dos municípios de Corumbataí, Rio Claro e Limeira, no interior do Estado de São Paulo (Figura 1). Foram selecionadas conforme a presença de cultivos comerciais de berinjelas.

Figura 1 – Imagem de satélite com a localização das áreas estudadas.



As duas áreas situadas no município de Corumbataí – SP, área I ($22^{\circ} 13' 15.33''$ S e $47^{\circ} 37' 18.95''$ W) e área II ($22^{\circ} 14' 29.34''$ S e $47^{\circ} 36' 40.04''$ W) pertencem ao mesmo produtor e são manejadas segundo as normas de cultivo

convencional. No entanto, o produtor relatou que só faz o uso de defensivos agrícolas quando necessário; na área II, não foram utilizados quaisquer produtos químicos durante o período de cultivo de berinjelas.

As áreas III e IV, manejadas segundo as normas de cultivos orgânicos, estão situadas, respectivamente, no município de Limeira – SP (22° 34'57.00" S e 47° 27'36.95" W) e no distrito de Ajapí, município de Rio Claro – SP, (22° 18'39.46" S e 47° 32'29.55" W).

Como a seleção áreas dependeu da presença de cultivos comerciais de berinjelas, não foi possível padronizar o período de amostragem nas áreas. A tabela 1 apresenta o tipo de manejo realizado nas áreas estudadas, a localização das mesmas, o período de amostragem e o tamanho do cultivo (em número de pés plantados).

Tabela 1 – Tipo de manejo, localização, número de pés cultivados e período de estudo nas quatro áreas estudadas.

Área: Localização (Tipo de manejo)	Coordenadas	Período estudado	Número de plantas na área cultivada
I: Corumbataí (Convencional)	22° 13'15.33" S 47° 37'18.95" O	Fevereiro a Abril, 2010	2000
II: Corumbataí (Convencional)	22° 14'29.34" S 47° 36'40.04" O	Setembro a Novembro, 2010	1000
III: Limeira (Orgânico)	22° 34'57.00" S 47° 27'36.95" O	Maio a Julho, 2010	600
IV: Ajapí (Orgânico)	22° 18'39.46" S 47° 32'29.55" L	Setembro a Novembro, 2011	600

3.2.2 Escolha da espécie cultivada

Foi selecionada a espécie *S. melongena* L. (Fam. Solanaceae). As flores de berinjela apresentam anteras com deiscência poricida, característica principal do gênero *Solanum*, que exige de seus polinizadores adaptações morfológicas e comportamentais especializadas (AVANZI; CAMPOS, 1997). O cultivo de berinjelas é altamente dependente da visita de abelhas para a formação dos frutos. Estudos preliminares revelaram que apesar da berinjela ser considerada uma espécie auto-compatível, é altamente dependente da visita de abelhas para a formação de frutos viáveis para a comercialização (PATRICIO et al., 2012).

3.2.3 Caracterização da fauna de abelhas

A amostragem de abelhas nas flores de berinjela foi realizada durante o segundo pico de florescimento do cultivo (por apresentar o de maior número de flores), uma vez por semana, durante quatro semanas, totalizando 16 horas de coleta em cada área. Nos mesmos dias e horários, também foram amostradas as abelhas visitantes de plantas ruderais, em florescimento no entorno do cultivo de berinjelas. As abelhas foram capturadas nas flores de berinjela e nas flores das plantas ruderais próximas à plantação, sempre em dias claros, das 6:00h às 17:20h, ou das 7h às 18:20, quando em horário de verão.

O coletor percorria o caminho entre duas linhas de cultivo e observou grupos de até seis pés de cada lado, onde permaneceu por cerca de cinco minutos, após o que seguia por mais seis pés, em intervalos de quarenta minutos. As abelhas que visitaram as flores nesse intervalo eram observadas quanto ao comportamento na flor, coletadas com auxílio de rede entomológica, sacrificadas em acetato de etila, montadas a seco e identificadas até o menor nível taxonômico possível por comparação com espécies já identificadas de outros projetos ou com auxílio da chave de identificação de Silveira et al. (2002). As abelhas pertencentes à subtribo Meliponini foram identificadas pela Dra. Sílvia Regina de Menezes Pedro, e foram incluídas em coleção de referência localizada no Laboratório de Biologia Comparada e Evolutiva de Abelhas, na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, SP - USP. As duplicatas, juntamente com os demais indivíduos coletados, foram armazenados em uma coleção apícola, localizada no Laboratório do Grupo de Estudos em Ecologia e Conservação de Abelhas Silvestres, no departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro – SP.

Simultaneamente à amostragem de abelhas nas flores de berinjelas, foram realizadas observações e coletas de abelhas em flores da vegetação ruderal que cresce em torno dos cultivos. Para isso, utilizou-se o mesmo procedimento de coleta empregado para as flores de berinjelas.

Em função da necessidade de dias propícios para a coleta, o intervalo de tempo entre duas coletas consecutivas foi, em algumas ocasiões, superior a sete dias.

3.2.4 Identificação e quantificação de elementos importantes para a permanência de polinizadores nas quatro áreas de estudo

As plantas ruderais, onde foram amostradas as abelhas durante visita na flor, foram coletadas, montadas em exsicatas e identificadas com auxílio do guia de plantas daninhas Lorenzi (1991).

Foram identificados elementos de alto valor, como habitats de nidificação e forrageamento para a fauna de abelhas presentes em cada área, tais como refúgios em fragmentos de vegetação nativa e matas ciliares ou ainda áreas pouco usadas como pastos sujos, silvicultura, outras espécies cultivadas, cercas vivas, entre outros, que podem oferecer abrigo, sítios de nidificação e alimentação.

Para a identificação das diferentes fisionomias da paisagem foi utilizado um conjunto de imagens ALOS (Advanced Land Observing Satellite), obtidas gratuitamente a partir do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as quais possuem resolução espacial (tamanho do pixel) equivalente a 10 metros. A escala escolhida para o mapeamento foi 1:10.000. As imagens foram processadas e os mapas das áreas foram gerados com auxílio do *software* de GIS (Geographic Information System) - ArcGIS 9.3, que nos permitiram determinar o uso e ocupação do solo e os tipos de coberturas presentes na região.

As classes de uso do solo adotadas para o processo de mapeamento foram estabelecidas com base nas características ambientais que interferem na presença dos polinizadores nas áreas (RIBEIRO et al., 2012).

A área circular com cinco quilômetros de raio, a partir do ponto central de cada cultivo de berinjelas foi mapeada segundo as classes de paisagem listadas no quadro 1. As áreas foram caracterizadas nas escalas de 1000 m, 750 m, 500 m e 250 m. A escolha das escalas foi baseada no raio de forrageamento das abelhas, o qual pode variar de acordo com o tamanho do corpo, de até 250m a seis quilômetros em poucas espécies, como *A. mellifera* (GATHMANN; TSCHARNTKE, 2002; GREENLEAF et al., 2007; ZURBUNCHEN et al., 2010). O limite de caracterização das áreas de 1 km foi selecionado devido ao forrageamento das abelhas não ultrapassar a média de 300 metros do sítio de nidificação, quando na presença dos recursos utilizados por elas, independente do tamanho corpóreo ou capacidade de voo (ZURBUNCHEN et al., 2010)

Para cada área, foram identificadas as classes de cobertura do solo, bem como o número e a porcentagem de cada classe presente nas escalas estudadas.

3.2.5 Análises estatísticas

As porcentagens das classes de cobertura dos solos presentes nas áreas estudadas foram obtidas no *software* Microsoft Excel 2011.

O índice de diversidade de Shannon, com base no uso e ocupação do solo, também foi calculado para cada escala estudada (250m, 500m, 750m, 1000m e 5000m), em cada área. Este índice permite comparar diversidade da paisagem do entorno dos cultivos. Foi utilizado o *software* Fragstats 4.3 (McGARIGAL; MARKS, 1995).

Para verificar a existência de uma relação entre o número de espécies de abelhas coletadas nas flores de berinjelas, e a complexidade da paisagem associada à presença de plantas ruderais, foram realizados testes de Regressão Múltipla, nas cinco escalas estudadas, na qual a variável dependente foi o número de espécies de abelhas. Para tanto, foi utilizado o programa *Statística* 8.0.

3.3 **RESULTADOS**

3.3.1 Caracterização da Fauna Apícola

Durante o pico de florescimento do cultivo, foi coletado um total de 508 indivíduos, sendo 233 nas flores de berinjelas (Tabela 2) e 277 em plantas ruderais (Tabela 3). As abelhas coletadas pertencem a quatro famílias: Apidae, Andrenidae, Megachilidae e Halictidae, entre as quais Apidae foi a mais abundante, seguida de Halictidae. Representantes da família Megachilidae foram observados apenas visitando flores de plantas ruderais (Tabela 3).

As abelhas amostradas nas flores de berinjela pertenceram a três famílias: Apidae, Andrenidae e Halictidae. A família Apidae foi a mais expressiva, com 184 indivíduos, pertencentes a 21 espécies. Entre as propriedades estudadas, a área III (cultivo orgânico), localizada em Limeira - SP, apresentou o maior número de indivíduos coletados, enquanto que a área IV, também de cultivo orgânico, localizada em Ajapí, SP, apresentou o menor número de espécimes coletados,

porém, entre todas as áreas estudadas, apresentou a maior riqueza, com 15 espécies diferentes, além das pertencentes à família Halictidae, não identificadas além do nível de família (Tabela 2).

O comportamento de coleta de pólen nas flores de berinjela apresentou duas variações (Tabela 2). A maioria das abelhas ao pousar nas flores, vibrava a musculatura torácica e conseqüentemente o cone de anteras, o que permitia a liberação do pólen. As abelhas de tamanho corpóreo maior, tais quais as abelhas dos gêneros *Oxaea*, *Bombus*, *Centris*, *Epicharis*, *Euglossa*, *Thygater*, *Xylocopa* e *Exomalopsis* sp. (com tamanho corpóreo médio, um pouco maior que as outras espécies de *Exomalopsis*) agarravam-se ao cone de anteras e vibravam todas as anteras de uma única vez, de modo que a superfície ventral do corpo tocava o estigma durante esse comportamento. Já as abelhas de tamanho corpóreo menor, *E. analis*, *E. auropilosa* e os indivíduos da família Halictidae, vibravam uma antera de cada vez até visitar todas as anteras. Nesses casos, o corpo das abelhas raramente tocava o estigma, ou tocava apenas parte dele.

O outro padrão de comportamento de coleta de pólen observado nas flores de berinjela foi o de catar o pólen, onde as abelhas geralmente pousavam sobre a corola e coletavam o pólen caído nas pétalas com as mandíbulas, sem tocar no estigma das flores. As abelhas do gênero *Trigona*, além do comportamento de pilhar o pólen, também foram observadas mordiscando o ápice das anteras e retirando o pólen de dentro das mesmas.

Um comportamento peculiar foi observado em alguns indivíduos de *Apis mellifera* L. Apesar de apresentar o padrão de pilhar o pólen caído sobre a corola, algumas abelhas conseguiam vibrar o cone de anteras e retirar o pólen em voo. As abelhas agarravam-se ao cone de anteras com as mandíbulas e realizavam voos verticais, que promoviam a liberação do pólen (PATRICIO et al., 2012).

Nas plantas ruderais, foi coletado um total de 275 indivíduos, a maioria pertencente à família Apidae. Assim como para as berinjelas, a propriedade onde foi coletado o maior número de indivíduos foi a área III. A Propriedade I apresentou o maior de número de espécies de abelhas. *Apis mellifera* L., foi a espécie mais abundante em todas as áreas, seguida por *Trigona spinipes* F. (Tabela 3). Ambas as espécies não são consideradas polinizadoras em potencial do cultivo de berinjela, pois não apresentam o comportamento de vibração ao manipular as flores.

Tabela 2 – Lista de abelhas coletadas nas flores de berinjelas nas áreas estudadas. **CRP/ HV** = comportamento de retirada do pólen na flor/ hábito de vida; **PP** = polinizador potencial; **VF** = visitante floral; **ST** = solitário; **NST** = não solitário.

Família/Gênero/Espécie	CRP/ HV	Número de indivíduos			
		Área I	Área II	Área III	Área IV
ANDRENIDAE					
<i>Oxaea flavescens</i> Klug, 1807	PP/ST	2	1	2	4
APIDAE					
Apini					
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	VF/NST	7	2	1	1
<i>Bombus (Fervidobombus) cf. morio</i> (Swederus, 1787)	PP/NST	25	3		2
<i>Euglossa</i> sp.	PP/ST	1		1	1
<i>Paratrigona cf. lineata</i> Lepeletier, 1836	VF/NST		1	2	
<i>Trigona hyalinata</i> Lepeletier, 1836	VF/NST				1
<i>Trigona spinipes</i> Fabricius, 1793	VF/NST	6	11	16	7
Centridini					
<i>Centris</i> sp.	PP/ST	3			1
<i>Centris obsoleta</i> L.	PP/ST	1			
<i>Epicharis (Epicharana) flava</i>	PP/ST	1			
Exomalopsini					
<i>Exomalopsis cf. analis</i> Spinola, 1853	PP/NST	1	4	5	4
<i>Exomalopsis cf. auropilosa</i> Spinola, 1853	PP/NST	5		19	1
<i>Exomalopsis</i> sp.	PP/NST			9	1
Eucerini					
<i>Melissoptila richardiae</i> Bertoni & Schrottky, 1910	VF/ST				3
<i>Thygater (Thygater) analis</i> Lepeletier, 1841	PP/ST	2	3	6	1
Tetrapedini					
<i>Tetrapedia diversipes</i> Klug, 1810	VF/ST				3
Xylocopini					
<i>Xylocopa</i> sp.	PP/ST	3	5	1	3
<i>Xylocopa (Neoxylocopa)</i> sp.	PP/ST		4		
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) suspecta</i> Moure & Camargo, 1988	PP/ST	1			
<i>Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis</i> Olivier, 1789	PP/ST		6		
HALICTIDAE					
Augochlorini					
<i>Augochloropsis</i> sp.	PP/ST	4	17	3	7
	PP/ST	1	3	1	1
NÃO IDENTIFICADAS			1	1	1
Número total de indivíduos		63	61	67	42
Número total de espécies (exceto Halictidae)		13	11	10	15

Das espécies coletadas nas plantas ruderais, as que apresentaram o comportamento de vibração das anteras foram as do gênero *Exomalopsis* os indivíduos da família Halictidae (Tabela 3). Apesar de apresentarem o

comportamento adequado para a retirada do pólen das anteras poricidas, no caso da berinjela, essas espécies podem ser consideradas polinizadores ocasionais pois por apresentarem tamanho do corpo menor do que as outras espécies, os frutos formados no processo da polinização podem não apresentar a qualidade dos frutos formados a partir da visita de abelhas com tamanho de corpo maior. Ao manipularem as anteras das flores de berinjelas, elas o fazem uma a uma, o que dificulta a transferência do pólen para o estigma.

Tabela 3 – Abelhas coletadas nas flores de plantas ruderais. **HV** = hábito de vida; **ST** = solitário; **NST** = não solitário. O número precedente ao parênteses representa o código da planta que recebeu visita da abelha. O código e a identificação da planta constam na tabela 4. O número entre parênteses representa o número de abelhas coletadas naquela planta.

		Código da planta visitada (Nº de abelhas)			
Espécies de abelhas	HV	Área I	Área II	Área III	Área IV
ANDRENIDAE					
Calliopsini					
<i>Acamptopoeum prinii</i> Holmberg, 1884	ST	13(2)			
Protandrenini					
<i>Cephalurgus anomalus</i> Moure & Oliveira, 1962	ST	3(1)			
APIDAE					
Apini					
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	NST	2(2), 3(2), 9(1), 11(1) 15(2),	1(4), 3(14), 9(13)	7(12), 9(15), 10(22), 12(1)	4(1), 9(19), 17(1)
<i>Nannotrigona testaceicornis</i> Lepeletier, 1836	NST	8(1), 9(2), 13(20)		7(1), 9(2)	
<i>Paratrigona cf. lineata</i> Lepeletier, 1836	NST		27(1)		
<i>Tetragona</i> sp. grupo <i>clavipes</i> Fabricius, 1804	NST	13(1)			
<i>Tetragonisca angustula</i> Latreille, 1811	NST	13(1)		13(1)	18(1)
<i>Trigona hyalinata</i> Lepeletier, 1836	NST	9(1)	1(4), 3(7), 9(4), 10(1) 1(5),	9(4)	
<i>Trigona spinipes</i> Fabricius, 1973	NST	16(3)	3(19), 9(3), 10(1),	9(8), 11(1)	9(1), 17(1)
Ceratinini					
<i>Ceratina (Crewella)</i> sp.	NST	13(1)			
Exomalopsini					
<i>Exomalopsis cf. analis</i> Spinola, 1853	NST				9(2), 10(3)
<i>Exomalopsis cf. auropilosa</i> Spinola, M., 1853	NST			9(2), 10(1)	9(2), 10(1)

Continuação da Tabela 3.

Ericocidrini					
<i>Mesoplia rufipes</i> Perty, 1833	ST	13(1)			
Eucerini					
<i>Melissoptila richardiae</i> Bertoni & Schrottky, 1910	ST	2(2), 15(1), 13(1),			
Tapinotaspidini					
<i>Tapinotaspoides tucumana</i> Vachal, 1904	ST				5(1)
Tetrapedini					
<i>Paratetrapedia</i> sp.1	ST	13(1)			
MEGACHILIDAE					
<i>Megachile</i> sp.	ST				3(1), 9(1), 10(1)
HALICTIDAE					
Tribo Augochlorini					
<i>Augochloropsis</i> sp.	ST	6(1), 9(1)	3(2), 27(1)	9(1)	9(3), 18(1)
Tribo Halictini	ST	13(1)			
NÃO IDENTIFICADAS	ST	11(1)	3(1)	7(1)	3(1)
			9(1)	10(1)	
Total de indivíduos		53	81	96	47
Número de espécies (exceto Halictidae)		12	7	9	11

Das abelhas coletadas nas plantas ruderais, as do gênero *Exomalopsis*, *Melissoptila* e as pertencentes à família Halictidae também foram observadas visitando as flores de berinjela.

As plantas ruderais que receberam visitas de abelhas nas propriedades, estão listadas na tabela 4. Foi identificado um total de 28 espécies, pertencentes a 14 famílias. Essas plantas crescem entre os cultivos e/ou nos arredores próximos a eles.

Das espécies que receberam visitas de abelhas, a família Asteraceae apresentou o maior número, com oito representantes, seguida pelas famílias Amaranthaceae, Cucurbitaceae e Solanaceae, todas representadas por três espécies e pela família Labiatae, com duas espécies. As demais famílias de plantas foram representadas por apenas uma espécie (Tabela 4).

As áreas de estudo que apresentaram o maior número de espécies de plantas ruderais em florescimento que receberam visitas de abelhas foram as propriedades III e IV, com dez e 13 espécies respectivamente, essas propriedades eram

manejadas segundo as normas de cultivo orgânico (Tabela 4). Nessas propriedades, segundo os proprietários, o crescimento de plantas ruderais em áreas não cultivadas ou mesmo entre canteiros dos cultivos tem o propósito de fornecer fontes complementares de pólen e néctar, principalmente para as abelhas que visitam as flores de berinjela, que não produz néctar.

Tabela 4 – Espécies de plantas ruderais em florescimento que receberam visitas de abelhas nas quatro propriedades estudadas. **X** = presença na área estudada.

Código	Espécie de planta ruderal ou alguns cultivos vizinhos	Propriedades			
		Área I	Área II	Área III	Área IV
	FAM. AMARANTHACEAE				
1	<i>Amaranthus lividus</i> L.		x		
2	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	x			
3	<i>Amaranthus viridis</i> L.	x	x		x
	FAM. ASTERACEAE				
6	<i>Acanthospermum australe</i> (Loefl.) O. Kuntze	x			
7	<i>Ageratum conyzoides</i> L.			x	
8	<i>Bidens alba</i> (L.) DC.	x			
9	<i>Bidens pilosa</i> L.	x	x	x	x
10	<i>Emilia sonchifolia</i> DC.		x	x	x
11	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	x		x	
12	<i>Sonchus oleraceus</i> L.			x	
13	<i>Vernonia polyanthes</i> Less.	x		x	
	FAM. CHENOPODIACEAE				
3	<i>Chenopodium album</i> L.				x
	FAM. COMMELINACEAE				
5	<i>Commelina nudiflora</i> L.				x
	FAM. CUCURBITACEAE				
14	<i>Cucurbita moschata</i> Duch.			x	
15	<i>Luffa cylindrica</i> Roemer	x			
16	<i>Sechium edule</i> Swartz	x			
	FAM. FABACEAE				
20	<i>Desmodium canum</i> (Gmel.) Schinz et Thell.				x
	FAM. GRAMINEAE				
17	<i>Zea mays</i> L.				x
	FAM. LABIATAE				
18	<i>Leonurus sibiricus</i> L.			x	x
19	<i>Marsypianthes chamaedrys</i> (Vahl) Kuntz.				
	FAM. MALPIGHIACEAE				
21	<i>Malpighia glabra</i> L.				x
	FAM. MALVACEAE				
22	<i>Sida santaremnensis</i> H. Mont.				x
	FAM. POACEAE				
23	<i>Brachiaria</i> sp.				x
	FAM. RUBIACEAE				
24	<i>Borreria suaveolens</i> G.F.W. Meyer			x	

Continuação da tabela 4

FAM. SOLANACEAE					
25	<i>Nycandra physaloides</i> (L.) Pers.				x
26	<i>Solanum americanum</i> Mill.				x
27	<i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.		x		
FAM. VERBENACEAE					
28	<i>Lantana trifolia</i> L.			x	
Total de espécies		9	5	10	13

3.3.2 Identificação e quantificação de elementos importantes para a permanência de polinizadores nas áreas de estudo

Os mapas referentes às áreas podem ser observados nas figuras 2, 3, 4 e 5. Cada figura apresenta as classes de uso e ocupação identificadas no raio de cinco quilômetros.

Figura 2 – Mapeamento referente ao uso e ocupação do solo da área I, no raio de cinco quilômetros.

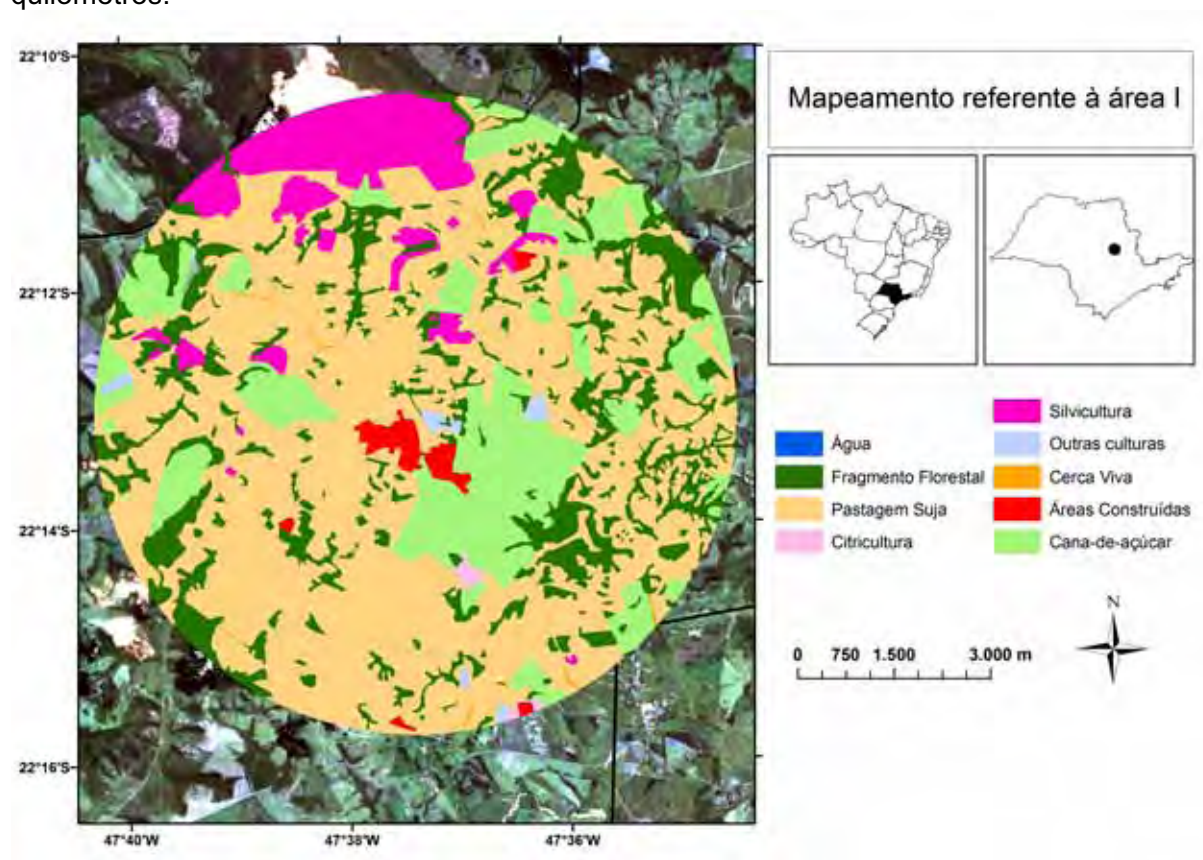


Figura 3 – Mapeamento referente ao uso e ocupação do solo da área II, no raio de cinco quilômetros.

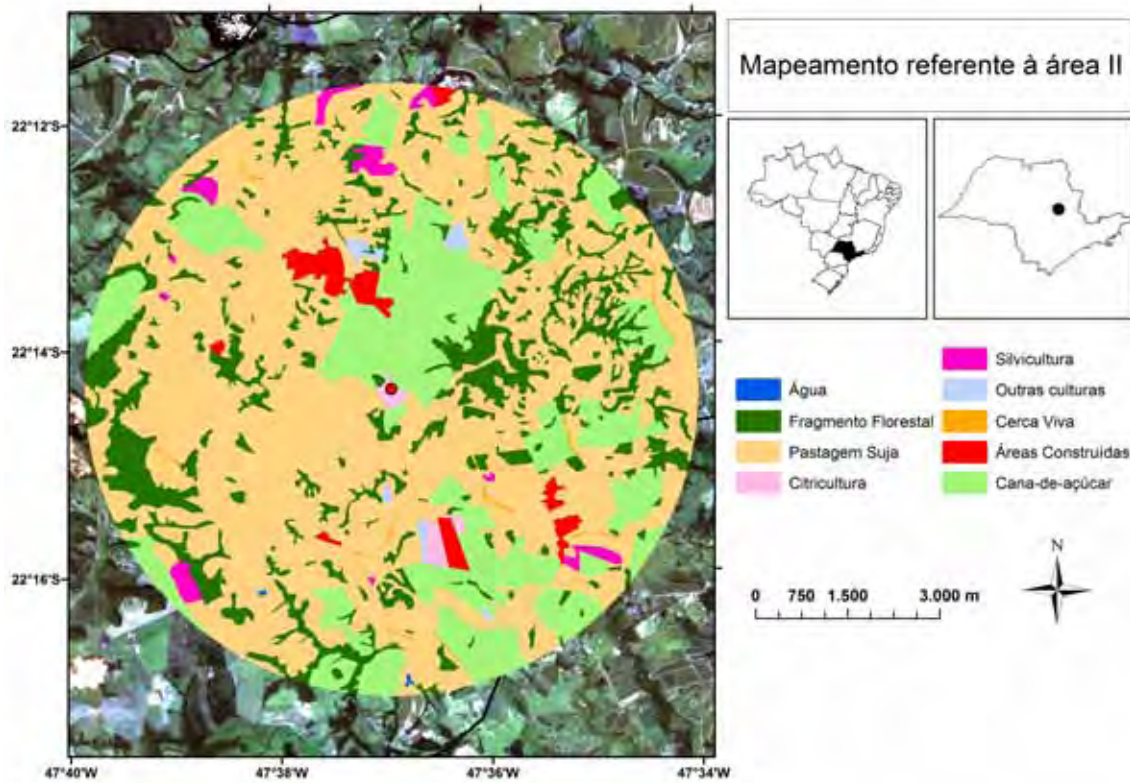


Figura 4 – Mapeamento referente ao uso e ocupação do solo da área III, no raio de cinco quilômetros.

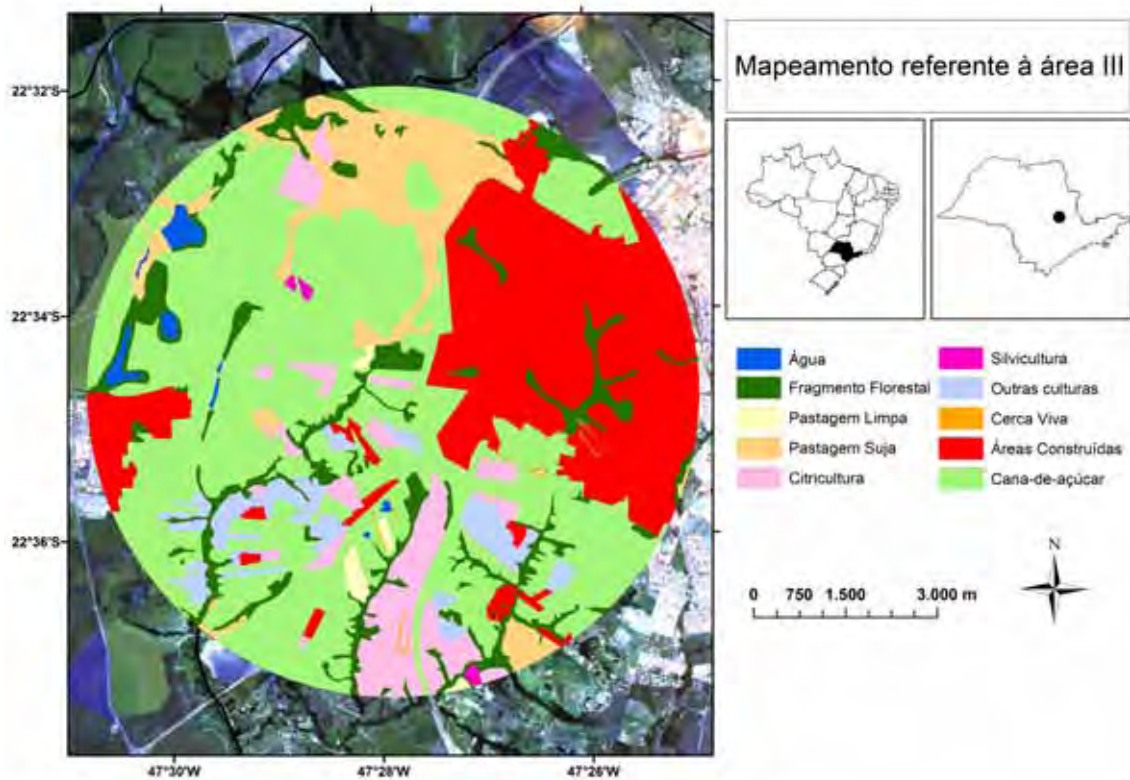
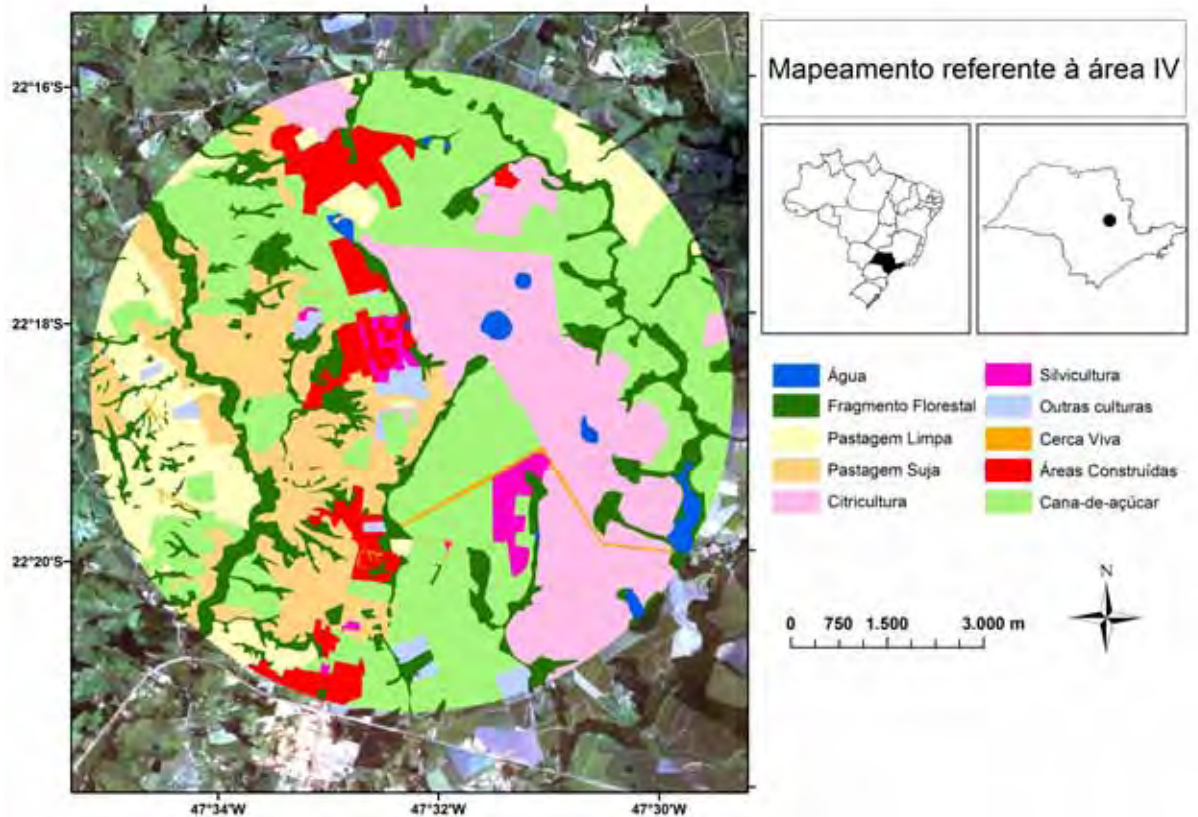


Figura 5 – Mapeamento referente ao uso e ocupação do solo da área IV, no raio de cinco quilômetros.



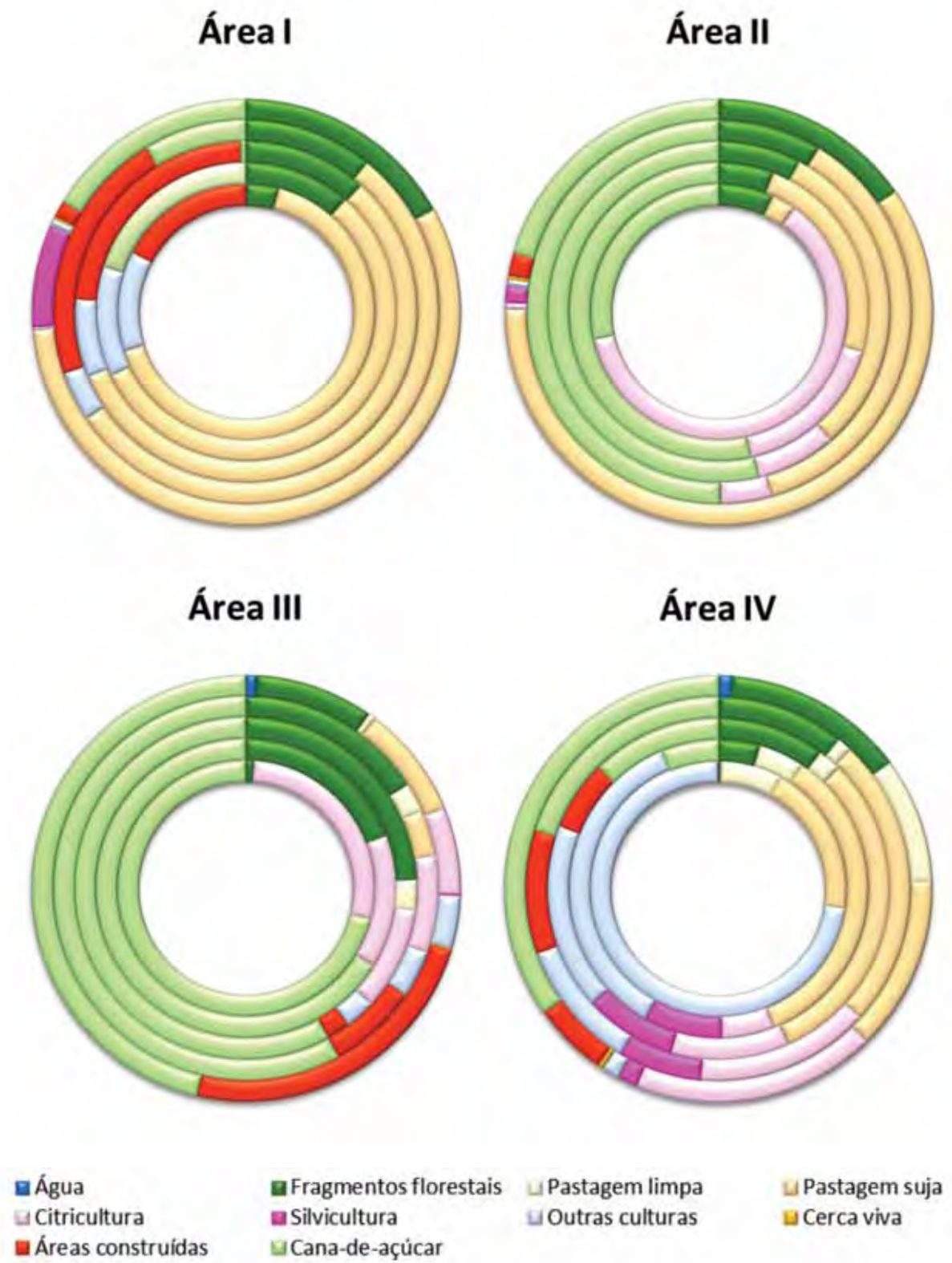
Foram identificadas um total de dez classes de uso e ocupação do solo, nas áreas III e IV: água, fragmentos florestais, pastagem limpa, pastagem suja, citricultura, silvicultura, outras culturas, cercas vivas, áreas construídas e cana-de-açúcar. As demais escalas e as outras áreas apresentaram números de classes de ocupação dos solos variados. O número e a porcentagem de fragmentos de cada classe, nas diferentes escalas e nas diferentes áreas de estudo podem ser observados na Tabela 5.

A figura 6 apresenta os gráficos das quatro áreas estudadas com a proporção encontrada para cada classe de uso e ocupação do solo presentes nas escalas estudadas. A porção mais interna do gráfico representa a proporção das classes de uso e ocupação do solo na escala de 250 m, seguidas pelas escalas de 500 m, 750 m, 1000 m e 5000 m.

Tabela 5 – Número e porcentagem de fragmentos de cada classe identificada nas diferentes escalas e nas diferentes áreas estudadas.

Área	Escala (m)	n. classes	Água	Fragmentos Florestais	Pastagem limpa	Pastagem suja	Citricultura	Silvicultura	Outras culturas	Cerca viva	Áreas construídas	Cana-de-açúcar
I	250 m	4	0/0	1/ 4,07	0/0	1/ 65,86%	0/0	0/0	1/ 12,73%	0/0	1/ 17,22%	0/0
	500 m	4	0/0	5/ 11,43%	0/0	1/ 56,52%	0/0	0/0	11/ 11,93%	0/0	1/ 20,08%	0/0
	750 m	5	0/0	9/ 11,81%	0/0	1/ 56,71%	0/0	0/0	1/ 7,48%	0/0	1/ 23,42%	1/ 0,54%
	1000 m	5	0/0	13/10,79%	0/0	1/ 54,82%	0/0	0/0	1/ 4,21%	0/0	1/ 21,47%	1/ 8,67%
	5000 m	9	0/0	190/ 16,98%	3/ 0,10%	1/ 56,45%	3/ 0,26%	23/ 7,79%	5/ 0,53%	1/ 0,20%	6/ 1,24%	30/ 16,31%
II	250 m	4	0/0	1/ 6,96%	0/0	1/ 3,00%	1/ 61,55%	0/0	0/0	0/0	0/0	1/ 28,38%
	500 m	4	0/0	2/ 5,96%	0/0	1/ 23,34%	1/ 17,25%	0/0	0/0	0/0	0/0	2/ 53,40%
	750 m	4	0/0	4/ 7,83%	0/0	1/ 30, 80%	1/ 7,66%	0/0	0/0	0/0	0/0	2/ 53,77%
	1000 m	5	0/0	5/ 8,69%	0/0	1/ 36,87%	1/ 4,31%	0/0	0/0	1/ 0,019%	0/0	2/ 50,09%
	5000 m	9	0,03%	196/ 15,43%	0/0	1/ 59, 72%	3/ 0,49%	12/ 1,29%	5/ 0,49%	1/ 0,27%	7/ 1,80%	29/ 20,43%
III	250 m	3	0/0	1/ 1,01%	0/0	0/0	1/ 27,82%	0/0	0/0	0/0	0/0	1/ 71,08%
	500 m	4	0/0	1/ 17,41%	0/0	0/0	1/ 12,94%	0/0	1/ 0,03%	0/0	0/0	1/ 69,59%
	750 m	6	0/0	1/ 24,22%	1/ 2,87%	0/0	2/ 9,76%	0/0	1/ 2,94%	0/0	1/ 2,19%	2/ 57,96%
	1000 m	7	0/0	2/ 15,89%	1/ 2,45%	1/ 3,94%	3/ 8,14%	0/0	1/ 3,98%	0/0	2/ 7,60%	2/ 57,95%
	5000 m	10	0,83%	40/ 8,90%	5/ 0,58%	10/ 8,55%	20/ 6,55%	3/ 0,18%	18/ 3,97%	1/ 0,016%	12/ 23,94%	9/ 46,28%
IV	250 m	4	0/0	1/ 0,31%	1/ 7,79%	1/ 19,31%	0/0	0/0	1/ 72,51%	0/0	0/0	0/0
	500 m	7	0/0	1/ 4,49%	1/ 4,95%	1/ 34,46%	1/ 5,76%	1/ 8,46%	1/ 32,58%	0/0	0/0	1/ 6,21%
	750 m	8	0/0	3/ 10,18%	1/ 2,20%	1/ 30,84%	2/ 11,34%	1/ 8,68%	2/ 17,76%	0/0	1/ 6,61%	2/ 12,33%
	1000 m	9	0,13%	3/ 10,66%	1/ 1,23%	1/ 24,71%	2/ 14,73%	2/ 7,07%	2/ 11,03%	0/0	1/ 10,40%	3/ 19,98%
	5000 m	10	1,07%	110/ 13,80%	16/ 9,51%	1/ 13,32%	1/ 13,32%	8/ 1,48%	10/ 1,36%	1/ 0,46%	9/ 5,59%	21/ 34,81%

Figura 6 – Proporção das classes da paisagem encontradas em cada área de estudo, nas diferentes escalas: 250 m (porção mais interna), 500 m, 750m, 1000 m e 5000 m (porção mais externa).



O índice de diversidade de Shannon (SHDI), usado para identificar a diversidade da paisagem em relação ao uso e ocupação do solo, foi calculado para cada área nas diferentes escalas (Tabela 6), selecionadas em função do raio de forrageamento das abelhas observadas forrageando nas flores de berinjela (GATHMANN; TSCHARNTKE, 2002; GREENLEAF et al., 2007).

Observando-se a tabela 6, percebe-se que, entre as áreas estudadas, a área IV apresentou os maiores índices de diversidade de Shannon em todas as escalas, com exceção da escala de 250m, sendo, portanto, a mais heterogênea. Já a área III, difere das demais, na escala de 500m, por ser a mais homogênea, com apenas três classes de uso dos solos (cana-de-açúcar, fragmentos de mata e citricultura). Apesar disso, apresenta a maior porcentagem de cobertura de mata (17,46%), nessa escala (Tabela 5).

Apesar dos valores não significativos de p , as análises estatísticas demonstraram uma forte tendência, na qual o número de espécies de abelhas visitantes de flores de berinjela está positivamente relacionado com paisagens mais diversificadas e com a presença de plantas ruderais no entorno dos cultivos. Essa relação se mostrou mais expressiva na escala de 500 m (Figura 7, $R^2 = 0,9849$, $p < 0,08$) e diminuiu nas escalas maiores (Tabela 7). As regressões múltiplas lineares referentes às demais escalas da paisagem podem ser observadas no apêndice.

Tabela 6 – Índices de diversidade de Shannon, com base no uso e ocupação do solo (SDHI) encontrados em cada área estudada, nas diferentes escalas.

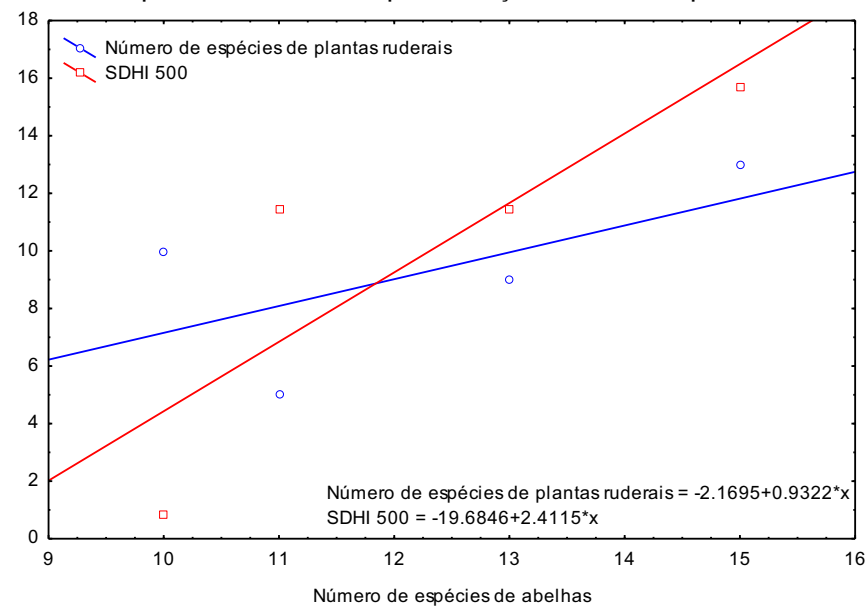
	Área I	Área II	Área III	Área IV
250m	0.9687	0.9503	0.6484	0.7693
500m	11.464	11.448	0.8247	15.686
750m	11.374	10.910	11.777	18.840
1000m	12.455	10.638	13.558	19.176
5000m	12.379	11.210	15.237	18.018

Tabela 7 – Teste de Regressão Múltipla Linear. **Nº spp abelhas berinjelas** = variável dependente; **Diversidade da paisagem (SDHI)** e **nº de spp de plantas ruderais** = variáveis independentes.

Escala	R ²
250 m	0,8931
500 m	0,9849
750 m	0,6553
1000 m	0,5852
5000 m	0,4251

Figura 7 – Dispersão linear das variáveis múltiplas em relação ao número de espécies de abelhas coletadas nas flores ruderais (R² = 0,9849, $p < 0,08$).

Gráfico de dispersão das variáveis múltiplas em relação ao número de espécies de abelhas



3.4 **DISCUSSÃO**

Os dados obtidos neste trabalho, apesar do pequeno número amostral e da ausência de réplicas, permitem sugerir que o número de espécies de abelhas presentes nas áreas cultivadas pode estar relacionado com o entorno da paisagem.

Os dados da regressão múltipla (Tabela 7, Apêndice) mostraram uma forte relação entre o número de espécies de abelhas e a diversidade da paisagem associada à presença de plantas ruderais no entorno do cultivo. Essa relação se mostrou mais expressiva na escala de 500 m (Tabela 7; Figura 7).

A relação entre a diversidade de abelhas e a diversidade da paisagem na escala de 500 m pode ser explicada pelo raio de forrageamento das espécies, o qual está relacionado com o tamanho do corpo. Abelhas com tamanho corpóreo pequeno forrageiam nas paisagens mais próximas dos ninhos, em escalas menores, cerca de 250 m a 500 m, enquanto que abelhas de tamanho grande, como as do gênero *Bombus*, por exemplo, podem forragear em escalas de paisagem maiores, de até seis quilômetros (STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2002; TSCHEULIN et al., 2011). Independente do tamanho do corpo e da capacidade de voo das espécies de abelhas, a maioria delas procura se movimentar próximo ao entorno dos sítios de nidificação, com exceção às abelhas do gênero *Apis* (ZURBUCHEN et al., 2010).

Além do tamanho do corpo, outro fator que interfere no raio de forrageamento das abelhas é o hábito de vida. Abelhas solitárias, por exemplo, respondem a características dos habitats imediatamente próximas aos sítios de nidificação (RATHCKE; JULES, 1993; STEFFAN-DWENTER et al., 2002; STEFFAN-DWENTER; TSCHARNTKE, 1999). Dos 16 gêneros de abelhas, somados aos indivíduos da família Halictidae, coletados nesse trabalho, nove apresentam hábito de vida solitário, e, portanto, forrageiam mais próximo dos ninhos.

As análises estatísticas mostraram também que a relação de dependência entre o número de espécies de abelhas e a diversidade da paisagem tende a diminuir com o aumento da distância a partir dos cultivos (Tabela 7, Apêndice). Estes dados corroboram com a tendência encontrada por Garibaldi et al. (2011), que verificaram, a partir de uma compilação de 29 estudos em biomas naturais, que a riqueza de espécies de abelhas diminui com o aumento da escala da paisagem.

A importância de paisagens mais diversificadas, bem como da presença de vegetação nativa e ambientes favoráveis para a polinização, como fontes variadas de alimento, por exemplo, para a diversidade e permanência de polinizadores em áreas nativas e principalmente nas áreas cultivadas, tem sido relatada por vários autores (GARIBALDI et al., 2011; KEARNS et al., 1998; KLEIN et al., 2007; KREMEN, 2004; KREMEN et al., 2007; MATOS et al., 2013; STEFFAN-DEWENTER et al., 2001; 2002; WESTPHAL, 2003).

A área III, na escala de 500 m, apresentou um índice de diversidade muito baixo ($SDHI = 0,8247$; Tabela 6), o que caracteriza essa área como homogênea, quando comparada com as demais áreas estudadas. Essa área também apresentou o menor número de espécies coletadas no cultivo de berinjelas (dez espécies; Tabela 2). No entanto não se pode relacionar o menor número de espécies de abelhas presentes na área com o baixo índice de diversidade de uso e ocupação do solo, pois os dados referentes à amostragem de abelhas certamente refletem o período da coleta, realizado no inverno, nos meses de maio a julho.

Apesar do menor número de espécies de abelhas e do baixo índice de Shannon, a área III apresentou a segunda maior porcentagem de frutos formados (96%) a partir da visitação livre dos insetos. A porcentagem de frutos formados nas áreas I, II e IV foram 84%, 98% e 82%, respectivamente (PATRICIO et al., 2012). A alta porcentagem de frutificação nessa área indica que as abelhas presentes no cultivo desempenham com sucesso a polinização da berinjela.

A alta porcentagem de cobertura do solo por cana-de-açúcar presente no entorno do cultivo na área III pode ser uma característica prejudicial aos polinizadores. Westphal et al. (2003) demonstraram que uma matriz suficientemente grande, sem nenhuma ou com poucas espécies de plantas em florescimento, pode atuar como uma barreira para os polinizadores impedindo do fluxo de indivíduos pela paisagem. No entanto, apesar da predominância dessa categoria de uso do solo, as propriedades vizinhas são constituídas por viveiros de plantas, que oferecem fontes variadas de alimento para as abelhas.

Outro fator que pode ter contribuído para o sucesso reprodutivo do cultivo nessa área foi o manejo da área que pode ter favorecido a permanência de abelhas nas regiões ao redor do plantio. Além disso, nessa escala de 500 m, a área III apresenta a maior porcentagem de cobertura de mata, quando comparada com as demais áreas estudadas. Garibaldi et al. (2011) salientaram que além da distância dos cultivos em relação a áreas naturais, a qualidade dessas áreas também exerce influência positiva na riqueza de visitantes florais, na taxa de visitação e na formação de frutos. Sendo assim, os dados presentes neste trabalho permitem inferir que a qualidade dos componentes presentes na paisagem, associada ao manejo da área, parece ser um fator mais expressivo para a presença de abelhas polinizadoras de berinjela na região do que somente a diversidade da paisagem.

Os fragmentos de vegetação nativa são, talvez, os elementos da paisagem, mais importantes para a permanência dos polinizadores nas áreas cultivadas, como demonstrado na área III. Quando próximos aos cultivos, esses fragmentos têm sido relatados como fator determinante para a riqueza de espécies de abelhas, e conseqüentemente, para o aumento da produtividade dos cultivos. A maioria dos pesquisadores relata que a diversidade de abelhas nas áreas cultivadas e o sucesso reprodutivo de diferentes espécies aumentam consideravelmente quando existem remanescentes florestais próximos dos cultivos (AGUIRRE; DIRZO, 2008; ALLEN-WARDELL et al. 1998; BENEVIDES et al., 2009; BRITTAIN et al., 2010; CARVALHEIRO et al., 2010; GONZÁLES-VARO et al., 2009; HOLZSCHUH et al., 2012; KLEIN et al., 2003; KREMEN et al., 2002; 2004; KREWENKA et al., 2011; LENTINI et al., 2012; PATRICIO, 2007; RATHCKE; JULES, 1993; RICKETTS, 2004; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 1999).

Holzschuh et al. (2007) relataram que a complexidade da paisagem exerce influência direta sobre a diversidade de polinizadores, onde paisagens mais heterogêneas contribuem para o aumento da diversidade, enquanto que nas paisagens mais homogêneas a diversidade de espécies de abelhas tende a ser menor. No entanto, os mesmos autores ressaltaram em seu estudo que, em paisagens homogêneas, o manejo da área, quando orgânico, compensou os efeitos negativos do entorno homogêneo e contribuiu para aumentar a diversidade de abelhas, fato que explicaria a alta porcentagem de formação de frutos na área III deste estudo.

A área IV apresentou o maior índice de diversidade de Shannon, em relação ao uso e ocupação do solo, em todas as escalas, exceto na escala de 250 m (Tabela 6). Também foi a área que apresentou o maior número de espécies de abelhas coletadas tanto nas flores de berinjela (Tabela 2), como nas plantas ruderais (Tabela 3), o que reforça a hipótese testada neste trabalho. Apesar disso, foi a área que apresentou a menor abundância de abelhas e a menor porcentagem de frutos formados, embora com média de peso superior às demais áreas (PATRICIO et al., 2012).

A menor abundância de abelhas, observada na área IV, pode estar relacionada com a presença de três caixas de *Apis mellifera* muito próximas ao cultivo de berinjelas. Essas abelhas são extremamente competitivas e podem apresentar comportamento de voo elaborado durante a visita nas flores de

berinjelas, no qual elas conseguem retirar o pólen através de voos verticais, que promovem o balanço das anteras, o que pode resultar na liberação de pólen (PATRICIO et al., 2012). Thomson (2004) verificou a interferência negativa de colônias de *A. mellifera*, devido à sua alta capacidade competitiva por recursos alimentares, sobre colônias de *Bombus*, que como consequência, diminuíram consideravelmente a produção de larvas.

Apesar de apresentar a menor abundância de abelhas e a menor porcentagem de frutos formados, a média do peso dos frutos formados na área IV foi significativamente maior do que a média de peso dos frutos formados nas demais áreas (PATRICIO et al., 2012). Entre as propriedades estudadas, a área IV é a única onde o proprietário realiza um manejo do solo antes do plantio, incorporando adubo orgânico ao cultivo, além de realizar rotação das culturas e tolerância de plantas ruderais. O proprietário relatou que geralmente realiza a colheita dos frutos para comercialização em cerca de 15 dias após a abertura da flor, metade do tempo utilizado pelos demais proprietários. Nesse caso, o manejo da área parece compensar a menor abundância de abelhas e outros fatores desfavoráveis, como pragas agrícolas que afetam cultivos orgânicos.

Uma das ações de manejo, muito comum em propriedades de cultivo orgânico é a tolerância do crescimento de plantas ruderais nas áreas cultivadas e em seus arredores. Em todas as áreas estudadas nessa pesquisa, os proprietários permitem o crescimento dessa vegetação, embora nas áreas de cultivo convencional, a tolerância seja menor. A presença de plantas ruderais pode fornecer recursos alimentares que complementam a dieta das abelhas, principalmente néctar, no caso de polinizadores de berinjela, uma vez que esta espécie só fornece pólen como recurso alimentar.

A existência da classe de ocupação de solos identificada como “pastagem suja”, encontrada em grandes porcentagens nas áreas I e II (Tabela 5, Figura 6), manejadas segundo as normas de cultivo convencional, sugere uma interferência positiva no número de espécies de abelhas presentes nessas áreas, uma vez que pastos sujos podem atuar como pasto apícola, exercendo a mesma função que as plantas ruderais presentes em maior número nas áreas orgânicas, além de poderem se constituir em uma matriz que oferece conectividade entre as áreas cultivadas e fragmentos florestais (WESTPHAL et al.; 2003). Bohan e Haughton (2012) encontraram que a presença de plantas ruderais em campos aráveis, na Grã

Bretanha, foi positivamente relacionada com a riqueza de abelhas em uma escala local.

Das abelhas coletadas nas plantas ruderais que apresentam o comportamento de vibrar as anteras para a retirada do pólen, apenas a família Halictidae e as espécies de *Exomalopsis* e *Melissoptila* foram coletadas nas flores de berinjela. Esse dado pode ser um indicativo de que as plantas ruderais não competem pelos polinizadores de berinjela e podem ainda, atuar como fonte de néctar, visto que as flores de berinjelas possuem apenas fontes de pólen. As espécies de ruderais mais visitadas *B. pilosa* (planta 9) e *E. sonchifolia* (planta 10) (Tabela 3) fornecem néctar, além do pólen.

Além disso, essas plantas ruderais podem atuar como fonte alimentar alternativa na ausência de flores no cultivo, garantindo a permanência de polinizadores na área o ano todo (CAMPOS et al., *no prelo*). Apesar de a flora ruderal representar certo risco para o cultivo por serem consideradas invasoras de culturas, reservatório de doenças e mesmo por competir por polinizadores, se manejadas com cuidado e de maneira adequada, podem fornecer muitos benefícios para o produtor (WRATTEN et al.; 2012), contribuindo para manter a fauna de polinizadores nas áreas cultivadas e, conseqüentemente aumentar a produtividade.

3.5 **C**ONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho apontam para uma tendência de que a hipótese testada, de que paisagens mais diversificadas associadas ao manejo adequado das áreas contribuam para a presença de uma fauna com maior riqueza de polinizadores em áreas cultivadas, seja verdadeira. As análises de Regressão Múltipla mostraram uma forte relação entre a diversidade da paisagem, associada à presença de plantas ruderais e o número de espécies de abelhas, visitantes florais de berinjela. Essa relação foi maior na escala de 500 m, que abrange o raio de forrageamento médio da maioria das abelhas.

A presença de elementos da paisagem, considerados importantes para as abelhas, entre eles a vegetação natural, foi um fator determinante nas áreas mais homogêneas, garantindo assim a polinização no local.

A qualidade dos habitats associada a ações de manejo das áreas, tais como tolerância de plantas ruderais e manejo do solo, pode garantir a presença de polinizadores nas áreas de cultivo o ano todo, inclusive nos períodos de ausência de flores.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, A.; DIRZO, R. Effects of fragmentation on pollinator abundance and fruit set of an abundant understory palm in a Mexican tropical forest. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 141, p. 375-384, 2008.

ALLEN-WARDELL, A. G.; BERNHARDT, P.; BITNER, R.; BURQUEZ, A.; BUSHMANN, S.; CANE, J.; COX, P. A.; DALTON, V.; FEINSINGER, P.; INGRAM, M.; INOUE, D.; JONES, C. E.; KENNEDY, K.; KEVAN, P.; ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat. **Oikos**, Copenhagen, DK, v. 71, p. 355-366, 1998.

AVANZI, M. R.; CAMPOS, M. J. O. C. Estrutura de guildas de polinização de *Solanum aculeatissimum* Jacq. E. S. *Variable* Mart. (Solanaceae). **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 57, p. 247-256, 1997.

BENEVIDES, C. R.; GAGLIANONE, M. C.; HOFFMANN, M. Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, SP, v. 53, n. 3, p. 415-421, 2009.

BOHAN, D. A.; HAUGHTON, A. J. Effects of local landscape richness on in field weed metrics across the Great Britain scale. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, NL, v. 158, p. 208-215, 2012.

BRITTAIN, C.; BOMMARCO, R.; VIGHI, M.; SETTELE, J.; POTTS, S. G. Organic farming in isolated landscapes does not benefit flower-visiting insects and pollination. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 143, p. 1860-1867, 2010.

CAMPOS, M. J. O.; PIZANO, M. A.; CHAUD NETO, J.; MALASPINA, O.; PATRICIO, G. B.; GOMIG, E. G.; LEUNG, L. R.; SOUZA, L.; GIORDANO, L. C.; VILLAS-BOAS, J. K.; PRATA, E. M. B.; FERREIRA, B.; BROWN, T. E.; FANG, H. S.; SASAKI, D. L.; SOUZA, E. S. S. Manejo agrícola e conservação de abelhas com potencial para a polinização de tomateiros. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planos de Manejo dos Subprojetos: Uso sustentável e restauração da diversidade de polinizadores autóctones na agricultura e nos ecossistemas relacionados**. Brasília, no prelo, p. 367-397.

CANE, J. H.; MINCKLEY, R. L.; KERVIN, L. J.; ROULSTON, T. H.; WILLIAMS, N. M. Complex responses within a desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation. **Ecological Applications**, Tempe, Ariz., US, v. 16, p. 632-644, 2006.

CARVALHEIRO, L. G.; SEYMOUR, C. L.; VELDTMAN, R.; NICOLSON, S. W. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 47, p. 810-820, 2010.

DIDHAM, R. K.; GHAZOUL, J.; STORK, N. E.; DAVIS, A. J. Insects in fragmented forests: a functional approach. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, NL, v. 11, p. 255-260, 1996.

ELTZ, T.; BRUHL, C. A.; VAN DER KAARS, S. A.; LINSENMAIR, K. E. Determinants of stingless bee nest density in lowland dipterocarp forests of Sabah, Malaysia. **Oecologia**, Berlim, DE, v. 131, p. 27-34, 2002.

GARIBALDI, L. A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; KREMEN, C.; MORALES, J. M.; BOMMARCO, R.; CUNNINGHAM, S. A.; CARVALHEIRO, L. G.; CHACOFF, N. P.; DUDENHÖFFER, J. H.; GREENLEAF, S. S.; HOLZSCHUH, A. H.; ISAACS, R.; KREWENKA, K.; MANDELIK, Y.; MAYFIELD, M. M.; MORANDIN, L. A.; POTTS, S. G.; RICKETTS, T. H.; SZENTGYÖRGYI, H.; VIANA, B. F.; WESTPHAL, C.; WINFREE, R.; KLEIN, A. M. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v.14, n. 10, p. 1-11, 2011.

GATHMANN, A.; TSCHARNTKE, T. Foraging ranges of solitary bees. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 71, p. 757-764, 2002.

GONZÁLEZ-VARO, J. P.; ARROYO, J.; APARICIO, A. Effects of fragmentation on pollinator assemblage, pollen limitation and seed production of Mediterranean myrtle (*Myrtus communis*). **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 142, p. 1058-1065, 2009.

GREENLEAF, S. S.; WILLIAMS, N. M.; WINFREE, R.; KREMEN, C. Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, Berlim, D., v. 153, n. 3, p. 589-596, 2007.

HAGEN, M.; KRAEMER, M. Agricultural surroundings support flower–visitor networks in an Afrotropical rain forest. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 143, p. 1654-1663, 2010.

HOLZSCHUH, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; KLEIJN, D.; TSCHARNTKE, T. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 44, p. 41-49, 2007.

HOLZSCHUH, A.; DUDENHÖFFER, J.-H.; TSCHARNTKE, T. Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 153, p. 101-107, 2012.

KEARNS, C.; INOUE, D.; WASER, N. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Paulo Alto, Calif., US, v. 29, p. 83-112, 1998.

KLEIN, A. M., STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 40, p. 837-845, 2003.

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

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; THORP, R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, USA, v. 99, n. 26, p. 16812-16816, 2002.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; BUGG, R. L.; FAY, J. P.; THORP, R. W. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. **Ecology Letters**, Oxford, GB, v. 7, p. 1109-1119, 2004.

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; AIZEN, M. A.; GEMMILL-HERREN, B.; LEBUHN, G.; MINCKLEY, R.; PACKER, L.; POTTS, S. G.; ROUSTON, T.; STEFFAN-DEWENTER, I.; VÁZQUEZ, P.; WINFREE, R.; ADAMS, L.; CRONE, E. E.; GREENLEAF, S. S.; KEIT, T. H.; KLEIN, A.; REGETZ, J.; RICKETTS, T. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 10, p. 299-214, 2007.

KREWENKA, K. M.; HOLZSCHUH, A.; TSCHARNTKE, T.; DORMANN, C. F. Landscape elements as potential barriers and corridors for bees, wasps and parasitoids. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 144, p. 1816-1825, 2011.

LENTINI, P. E.; MARTIN, T. G.; GIBBONS, P.; FISCHER, J.; CUNNINGHAM, S. A. Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: Maintaining mosaics of natural features and production. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 149, p. 84-92, 2012.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. Nova Odessa, SP: Plantarum, 1991. 440pp.

MATOS, M. C. B.; SOUSA-SOUTO, L.; ALMEIDA, R. S.; TEODORO, A. V. Contrasting patterns of species richness and composition of solitary wasps and bees (Insecta: Hymenoptera) according to land-use. **Biotropica**, Washington, US, v. 45, n. 1, p. 73-79, 2013.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122p. 1995.

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

PATRICIO, G. B. **O efeito da heterogeneidade de habitats sobre as interações planta – polinizador em uma região da bacia do rio Corumbataí – SP**. 77f. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/ Zoologia). Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro.

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

RATHCKE, B. J.; JULES, E. S. Habitat fragmentation and plant-pollinator interactions. **Current Science**, Bangalore, Índia, v. 65, p. 273-77, 1993.

RIBEIRO, M. C.; BERNARDES, R.; BORGES, D. B.; RIBEIRO, J. W.; KANDA, C. Z.; FREGONEZI, G. L.; PRADO, H. A.; FERREIRA, M. K.; MAGLIOLI, M.; SETZ, E. Z. F.; ROMEIRO, A.; RODRIGUES, M. G. 2012. **Modelagem ecológica do corredor das onças para fins de pagamento por serviços ambientais utilizando ecologia de paisagens**. Relatório técnico, Rio Claro - SP, Out 2012.

RICKETTS, T. H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crop. **Conservation Biology**, Boston, Mass., US, v. 18, p. 1262-1271, 2004.

SABATINO, M.; MACEIRA, N.; AIZEN, M. A. Direct effects of habitat area on interaction diversity in pollination webs. **Ecological Applications**, Tempe, Ariz., US, v. 20, n. 6, p. 1491-1497, 2010.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. B. **Abelhas brasileiras: sistemática e identificação**. Belo Horizonte: Fernando A. Silveira. 2002. 253p.

STEFFAN-DEWENTER, I.; MÜNZENBERG, U.; TSCHARNTKE, T. Pollination, seed set and seed predation on a landscape scale. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**, London, GB, v. 268, p. 1685-1690, 2001.

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

STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Effects of habitats isolation on pollinator communities and seed set. **Oecologia**, Berlin, DE, v. 121, p. 432-440, 1999.

STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Insect communities and biotic interactions on fragmented calcareous grasslands - a mini review. **Biological Conservation**, Essex, Inglaterra, GB, v. 104, p. 275-284, 2002.

THOMSON, D. Competitive interactions between the invasive european honey bee and native bumble bees. **Ecology**, Tempe, Ariz., US, v. 85, n. 2, p. 458-470, 2004.

TSICHEULIN, T.; NEOKOSMIDIS, L.; PETANIDOU, T.; SETTELE, J. Influence of landscape context on the abundance and diversity of bees in Mediterranean olive groves. **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, Inglaterra, GB, v. 101, p. 557-564, 2011.

WESTPHAL, C.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. **Ecology Letters**, Oxford, Inglaterra, GB, v. 6, p. 961-965, 2003.

WESTRICH, P., 1996. Habitat requirements of central European bees and the problems of partial habitats. In: MATHESON, A.; BUCHMANN, S. L.; O'TOOLE, C.; WESTRICH, P.; WILLIAMS, I. (EDS.). **The conservation of bees**. San Diego: Academic Press INC., 1996. Cap. 1, p. 1-16.

WILLIAMS, P. H. The distribution and decline of British bumble bees (*Bombus* Latr.). **Journal of Apicultural Research**, London, GB, v. 21, n. 4, p. 236-245, 1982.

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

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o cultivo de berinjelas é altamente dependente das abelhas para a formação de frutos. A porcentagem de frutos formados a partir de flores de berinjela que receberam visitas de abelhas variou de 82% a 98%.

Embora *S. melongena* L. seja considerada uma espécie auto-compatível, os frutos formados em decorrência da ausência de visita dos polinizadores, não ultrapassaram 14% do número de flores testadas, além de serem malformados e apresentarem medidas de peso e tamanho muito inferiores às medidas dos frutos considerados adequados para a comercialização.

As flores de *S. melongena* L. apresentam anteras com deiscência poricida e portanto, requerem a visita de polinizadores que apresentam um comportamento de vibração para a retirada do pólen das anteras. Entre esses polinizadores, existem espécies com hábitos de vida solitário ou social, bem como espécies mais especialistas ou generalistas para a coleta de recursos alimentares. Sendo assim, para garantir a presença dessas abelhas nos cultivos de berinjelas e otimizar a produtividade do cultivo, o entorno da área cultivada deve atender às necessidades desses polinizadores, tais quais sítios de nidificação e fontes de alimento variadas.

Este estudo mostrou ainda que para atender às necessidades dos polinizadores, paisagens mais diversificadas e a presença de elementos “chave”, entre eles, principalmente remanescentes de vegetação nativa e flora ruderal são importantes para a manutenção da diversidade dessas abelhas nas áreas cultivadas, além de garantirem a permanência dos polinizadores nos períodos de ausência de flores no cultivo.

Associado ao contexto da paisagem, o manejo das áreas cultivadas se mostrou igualmente importante para a manutenção da diversidade dos polinizadores e para a produtividade do cultivo de berinjelas. Ações de manejo, como tolerância do crescimento de plantas ruderais e enriquecimento do solo com nutrientes essenciais à berinjela podem compensar os fatores desfavoráveis, como ataque de pragas ou mesmo paisagens desfavoráveis para a permanência de polinizadores na área e assim, garantir ao produtor uma colheita mais numerosa e com frutos de maior qualidade.

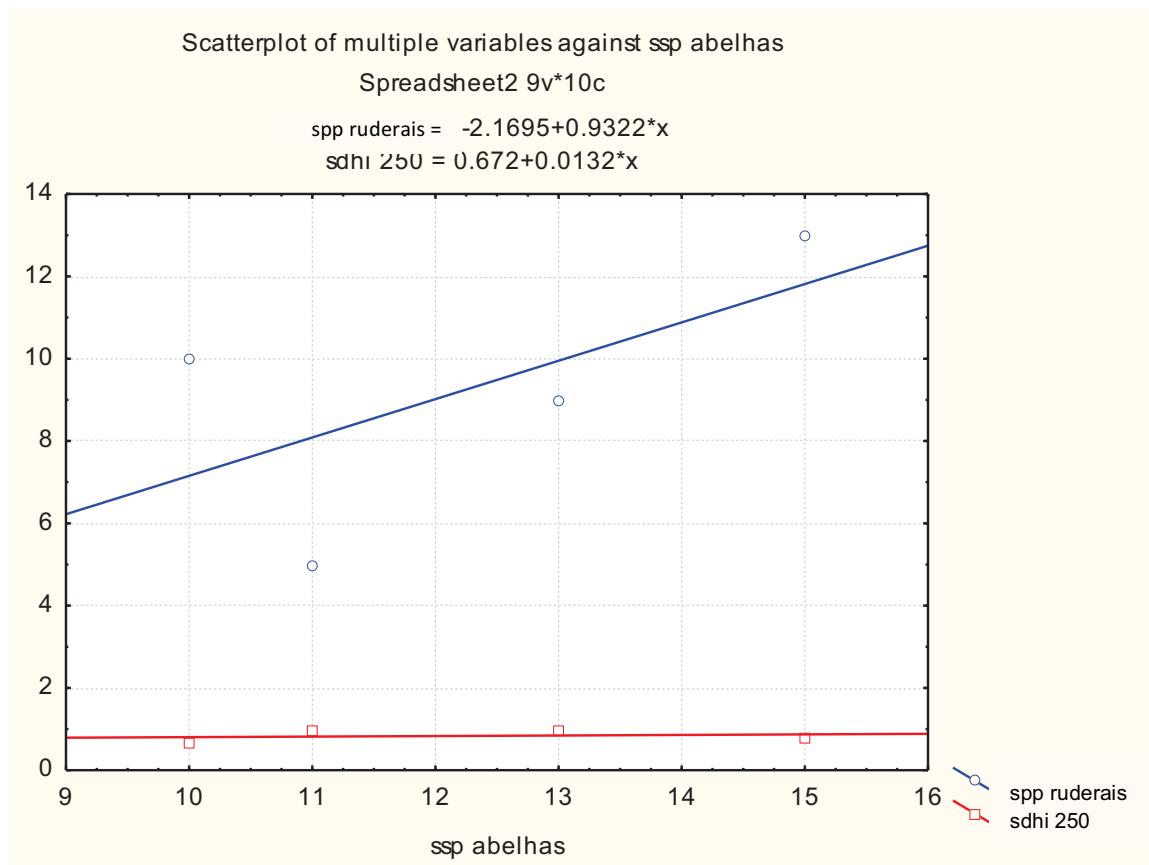
Esse estudo procurou abordar de maneira integrada todos os parâmetros que interferem nos hábitos de vida dos polinizadores, tais como a configuração da

paisagem e o manejo das áreas cultivadas. No entanto, no Brasil, ainda são necessárias pesquisas que abordem esses parâmetros separadamente, para a obtenção de dados mais consistentes, os quais futuramente podem ser utilizados em planos de manejo e políticas públicas, voltados para a conservação de polinizadores e ao mesmo tempo, garantir a otimização da produtividade de diferentes espécies cultivadas.

APÊNDICE

**TESTES DE REGRESSÕES MÚLTIPLAS EM TODAS AS ESCALAS DA
PAISAGEM ESTUDADAS:
250 m, 500 m, 750 m, 1000 m e 5000 m.**

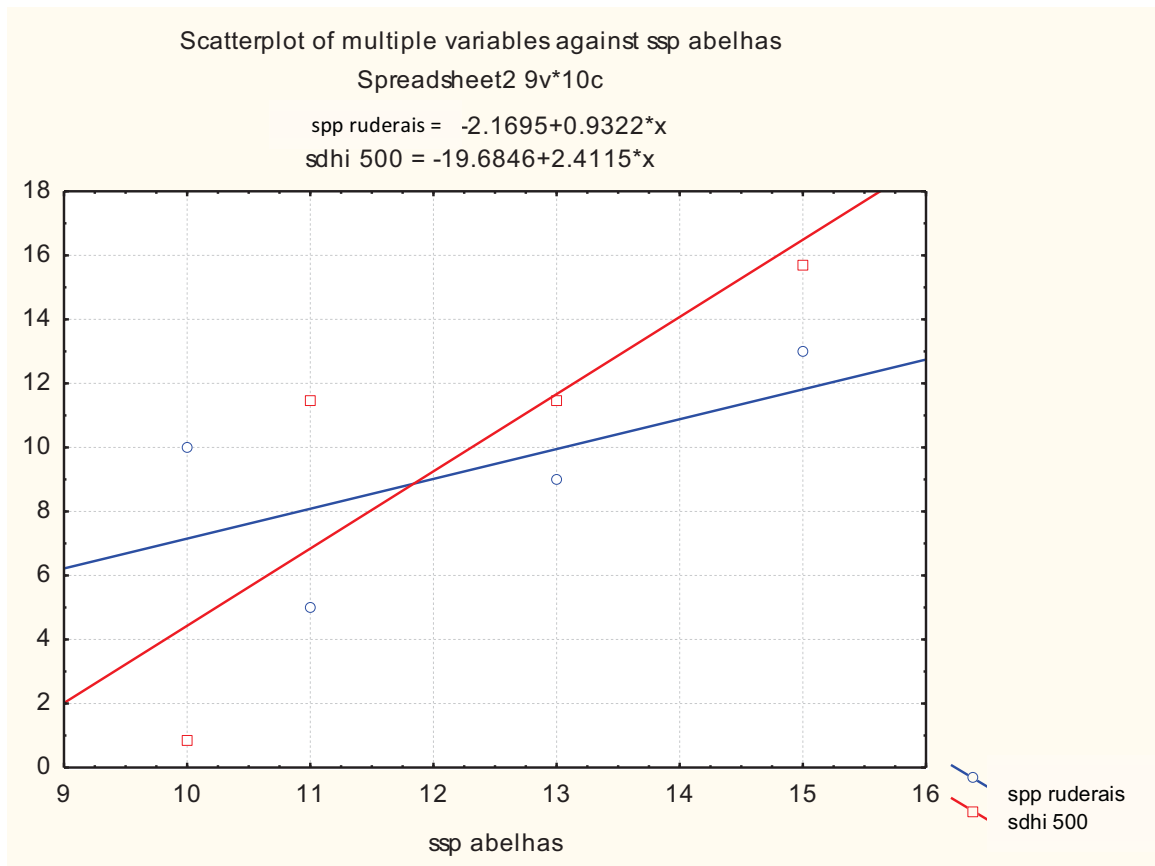
Escala de 250 m



Regression Summary for Dependent Variable: ssp abelhas (Spreadsheet2) R= .94506211 R²= .89314239 Adjusted R²= .67942716 F(2,1)=4.1791 p

	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(1)	p-level
Intercept			-5.62206	6.795918	-0.827271	0.560000
ssp ruderais	1.156276	0.408450	0.77598	0.274112	2.830891	0.216173
sdhi 250	0.885082	0.408450	12.82012	5.916260	2.166930	0.275250

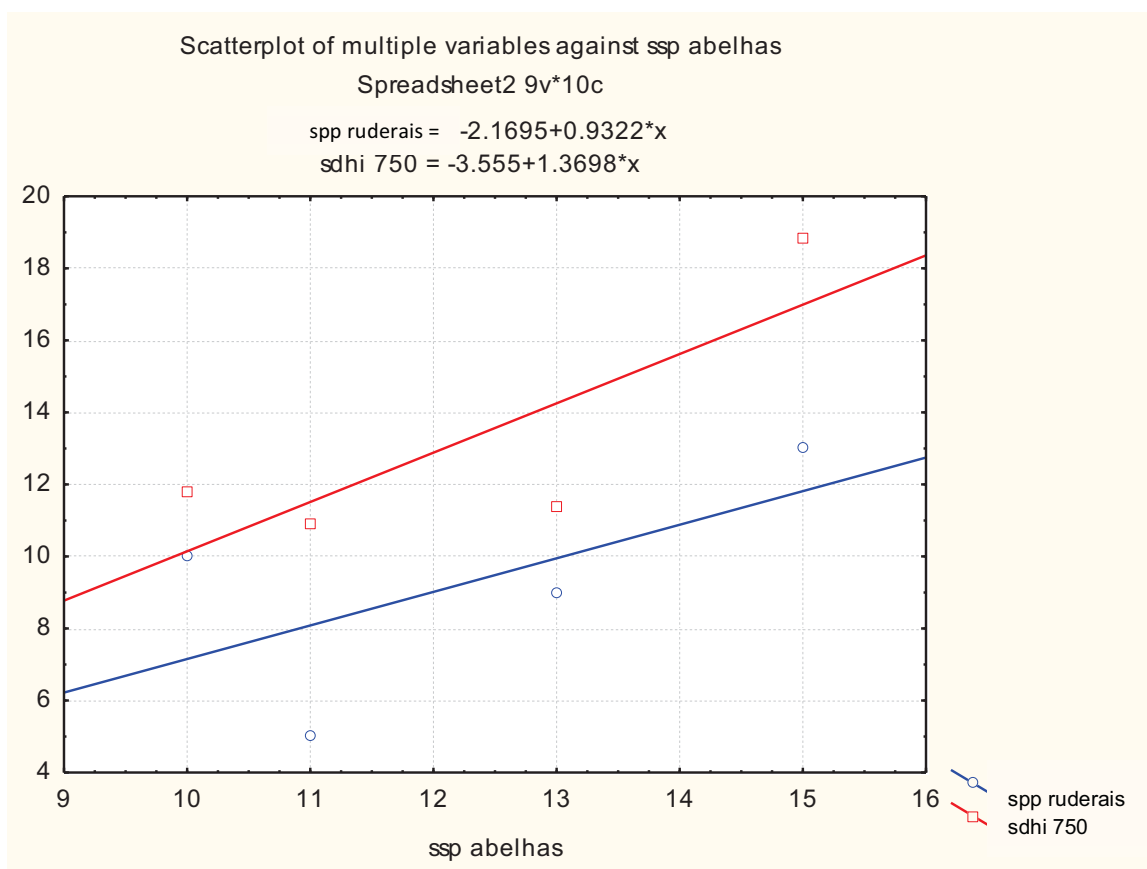
Escala de 500 m



Regression Summary for Dependent Variable: ssp abelhas (Spreadsheet2) R= .99241615 R²= .98488981 Adjusted R²= .95466944 F(2,1)=32.590 p

	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(1)	p-level
Intercept			6.297967	0.864250	7.287205	0.086819
spp ruderais	0.527757	0.123911	0.354180	0.083157	4.259159	0.146812
sdhi 500	0.776583	0.123911	0.271505	0.043321	6.267262	0.100730

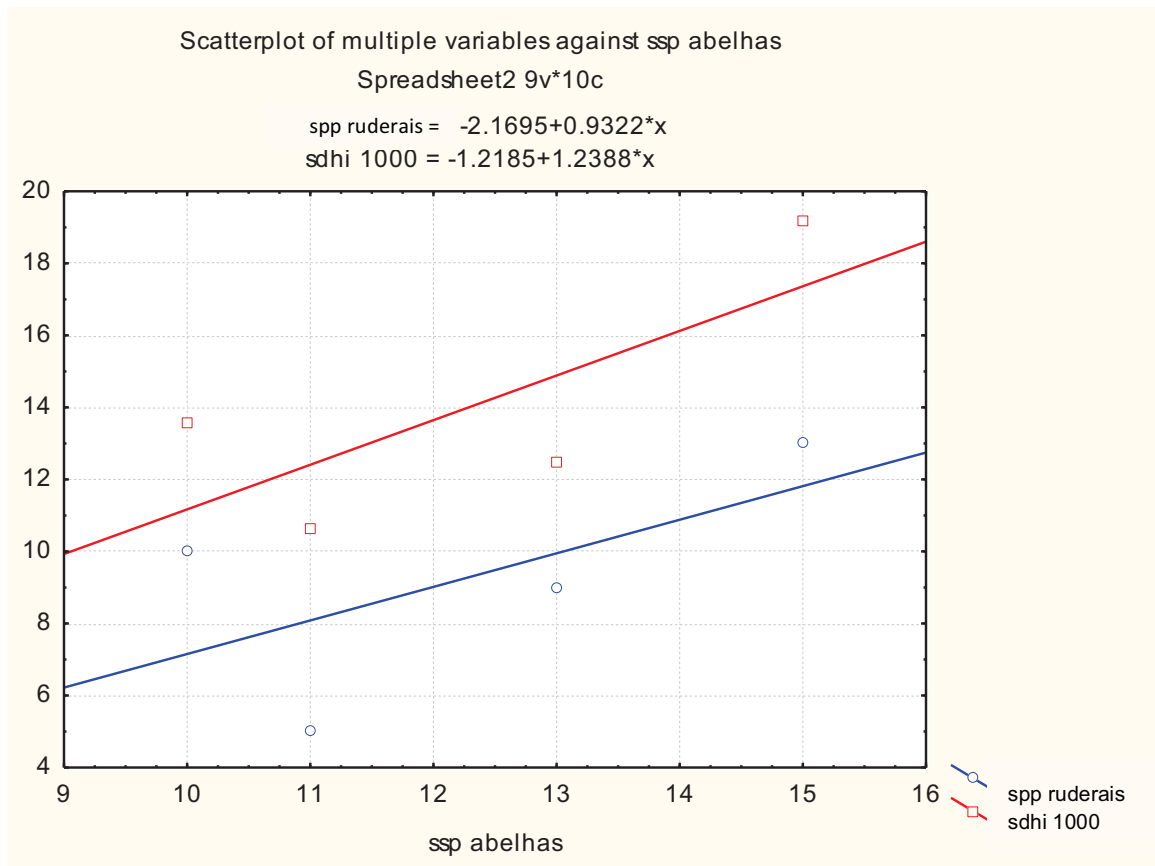
Escala de 750m



Regression Summary for Dependent Variable: ssp abelhas (Spreadsheet2) R= .80953064 R²= .65533985 Adjusted R²= ----- F(2,1)=.95070 p

	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(1)	p-level
Intercept			5.937896	4.717368	1.258731	0.427394
spp ruderais	-0.089837	1.006488	-0.060290	0.675459	-0.089258	0.943327
sdhi 750	0.880804	1.006488	0.519445	0.593565	0.875127	0.542333

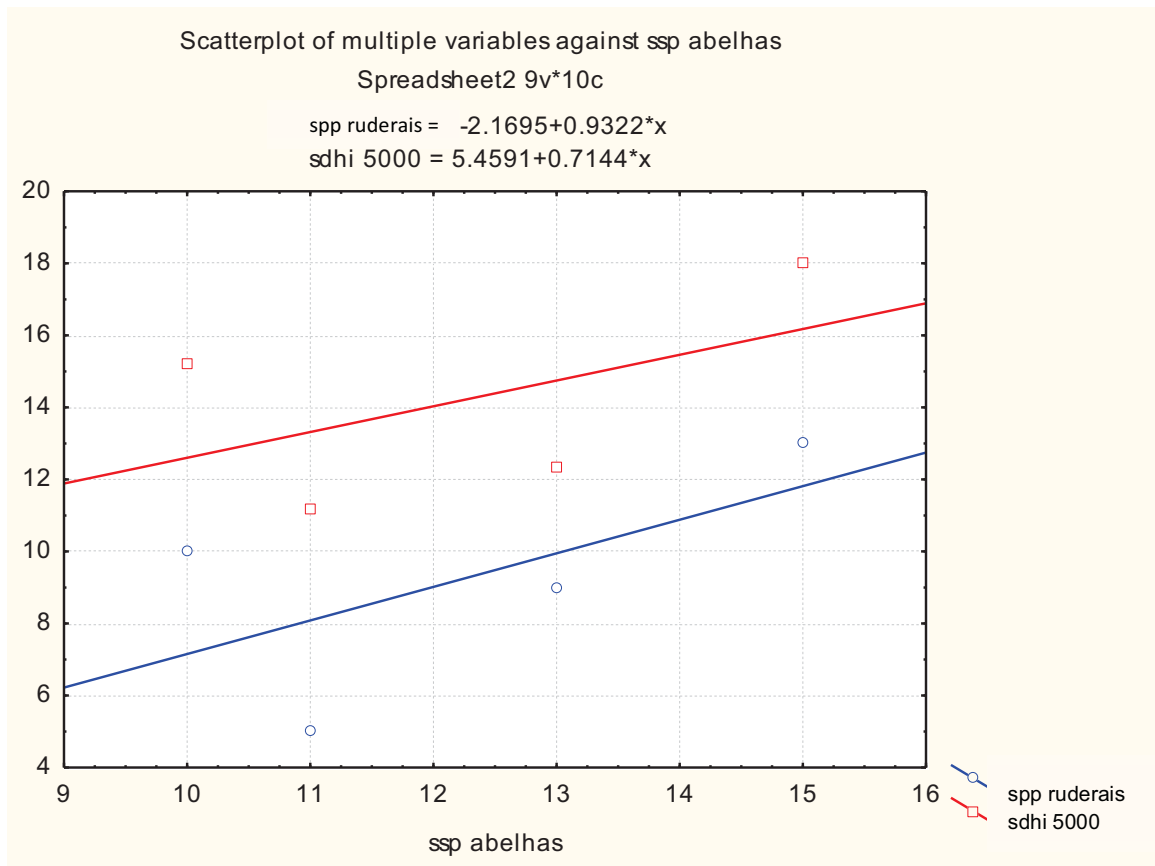
Escala de 1000 m



Regression Summary for Dependent Variable: ssp abelhas (Spreadsheet2) R= .76501329 R²= .58524533 Adjusted R²= ----- F(2,1)=.70553 p

	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(1)	p-level
Intercept			5.282183	6.153337	0.858426	0.548404
spp ruderais	-0.445186	1.693463	-0.298767	1.136491	-0.262885	0.836345
sdhi 1000	1.157782	1.693463	0.697255	1.019860	0.683677	0.618228

Escala de 5000 m



Regression Summary for Dependent Variable: ssp abelhas (Spreadsheet2) R= .65206799 R²= .42519266 Adjusted R²= ----- F(2,1)=.36986 p

	Beta	Std.Err. - of Beta	B	Std.Err. - of B	t(1)	p-level
Intercept			10.70925	10.84383	0.987589	0.503975
spp ruderais	1.109124	2.132966	0.74434	1.43144	0.519992	0.694733
sdhi 5000	-0.517300	2.132966	-0.37607	1.55065	-0.242526	0.848528