



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS



POLINIZAÇÃO POR ABELHAS EM CULTIVO CONVENCIONAL E AGROFLORESTAL

BÁRBARA MATOS DA CUNHA GUIMARÃES

2018

Bárbara Matos da Cunha Guimarães

**POLINIZAÇÃO POR ABELHAS EM CULTIVO
CONVENCIONAL E AGROFLORESTAL**

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

Orientadora
Profa. Dra. Fernanda Helena Nogueira-Ferreira

UBERLÂNDIA
Fevereiro – 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

G963p
2018

Guimarães, Bárbara Matos da Cunha, 1994-
Polinização por abelhas em cultivo convencional e agroflorestal /
Bárbara Matos da Cunha Guimarães. - 2018.
58 f. : il.

Orientadora: Fernanda Helena Nogueira-Ferreira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos
Naturais.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1308>
Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses.
 2. Abelhas - Criação - Teses.
 3. Abelhas sem ferrão - Teses.
 4. Polinização por insetos - Teses.
 5. Tomate - Teses.
 6. Berinjela - Teses.
- I. Nogueira-Ferreira, Fernanda Helena.
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. III. Título.

CDU: 574

Bárbara Matos da Cunha Guimarães

**POLINIZAÇÃO POR ABELHAS EM CULTIVO CONVENCIONAL E
AGROFLORESTAL**

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

Aprovada em 28 de fevereiro de 2018.

Banca examinadora:

Prof^a Dr^a Edivani Villaron Franceschinelli - UFG

Prof^a Dr^a Laíce Souza Rabelo – UFU

Prof^a Dr^a Ferenanda Helena Nogueira-Ferreira - UFU
(Orientadora)

“Se as abelhas desaparecerem da face da Terra, a humanidade terá apenas mais quatro anos de existência. Sem abelhas não há polinização, não há reprodução da flora, sem flora não há animais, sem animais, não haverá raça humana”.

Albert Einstein (1879/1955)

AGRADECIMENTOS

Através da execução desse trabalho pude perceber o real significado e a importância de uma pesquisa colaborativa. Esse projeto só foi possível pelo envolvimento e auxílio de diversas pessoas maravilhosas!

Começo agradecendo à minha grande orientadora Fernanda, que é um exemplo de como realizar tudo com amor e da melhor forma possível. Muito obrigada, Fer. Por ser esse exemplo de pessoa, por ser inspiração e por nos trazer a esperança de uma pesquisa e educação mais humanas e felizes. Muito obrigada também ao Bruno, que apesar de não poder me orientar oficialmente, auxiliou muito em todas as etapas de execução do trabalho!

Agradeço aos meus pais, irmãos e familiares (principalmente à minha tia Danielle e à minha avó Maria Lúcia) por terem me dado todo o apoio e investimento necessários para chegar onde estou.

Aos meus amigos que muitas vezes me ajudaram a segurar a “barra” e em outras tantas me ajudaram na execução da pesquisa. Principalmente a Nicole, Jaqueline, Thainá, Larissa, Vinícius, Janaína, Hellen e Thayane, que tiveram participação ativa em diversos momentos de realização do trabalho. Nicole realmente merece um espaço especial, já que esteve presente em todas as etapas, desde o início dos campos, às análises dos frutos, análises de dados e escrita da dissertação, aguentando meus altos e baixos, além de me ajudar muito com a parte de referências. Obrigada Lílian pela revisão cuidadosa e pelo apoio moral.

Muito obrigada aos produtores de tomate Paulo e Wellington e aos construtores de agrofloresta Paulo e Joana, que nos receberam tão bem em seus cultivos e deram todo o apoio necessário para a realização da pesquisa.

Obrigada aos professores Paulo Eugênio e Camila por emprestarem seus laboratórios LAMOVI e LaBTA, e toda a estrutura necessária para a execução de partes do trabalho.

Agradeço à UFU, CNPq, FAPEMIG e CAPES pelo apoio estrutural, material e financeiro concedido.

Aos envolvidos da Torre da princesa, que tornaram manhãs, dias e noites mais divertidos e refeições mais gostosas.

Obrigada Ônix, Júpiter e Safira pela companhia nas madrugadas de escrita.

Finalmente e não menos importante, agradeço a Lua e ao Sol.

ÍNDICE

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
1. Introdução geral.....	1
1.1. Referências.....	3
2. Capítulo I – Incremento de polinizadores em cultivo de tomate.....	5
2.1. Resumo.....	5
2.2. Abstract.....	6
2.3. Introdução.....	7
2.4. Metodologia.....	10
2.5. Resultados.....	15
2.6. Discussão.....	22
2.7. Conclusão.....	24
2.8. Agradecimentos.....	25
2.9. Referências.....	25
3. Capítulo II - Polinização por abelhas para a produção de frutos de <i>Solanum Melongena</i> (Solanaceae) em sistema agroflorestal.....	30
3.1. Resumo.....	30
3.2. Abstract.....	31
3.3. Introdução.....	32
3.4. Metodologia.....	34
3.5. Resultados.....	39
3.6. Discussão.....	45
3.7. Conclusão.....	48
3.8. Agradecimentos.....	48
3.9. Referências.....	48
4. Conclusões gerais.....	51

RESUMO

Os serviços ambientais são importantes para a manutenção de ecossistemas e para a preservação de espécies. Dentre eles, a polinização se destaca, pois tem influência na manutenção de diversas espécies vegetais e animais. É um fator de interesse em sistemas agrícolas, pois sustenta a existência de diversos cultivos. Abelhas se destacam como polinizadores de áreas naturais e de cultivares, portanto, a manutenção e preservação desses insetos é de interesse econômico e ecológico mundial. Conhecer a influência desses polinizadores nos ambientes agrícolas é de grande importância para tornar evidente a necessidade de conservação. Ecossistemas agrícolas com manejo convencionais são distintos de sistemas agroflorestais, pois apresentam diferentes possibilidades de coexistência com a fauna nativa. Os sistemas agroflorestais se mostram como uma alternativa ecológica às monoculturas. Esse trabalho objetivou verificar a contribuição das abelhas como polinizadoras em um cultivo convencional de tomate e em um cultivo de berinjela em um sistema agroflorestal. No cultivo de tomate foi realizado um incremento de polinizadores com a introdução de ninhos de *Melipona quadrifasciata*, com o objetivo de analisar a consequência desse incremento nos frutos produzidos. Para tanto, o efeito da diversidade de abelhas na produção e na qualidade dos frutos do tomateiro foi avaliado antes e após a introdução dos ninhos na área de cultivo. Já no cultivo de berinjela, a pesquisa teve como objetivos verificar a contribuição das abelhas como polinizadores da berinjela em um ambiente agroflorestal. Através da verificação da contribuição das abelhas para a formação de frutos, da observação do comportamento das abelhas ao visitarem as flores e da avaliação da contribuição da polinização na qualidade dos frutos formados. No cultivo de tomate, houve um aumento no número de sementes produzidas após a introdução de ninhos de *M. quadrifasciata*. Apesar da contribuição, os ninhos foram retirados da área de cultivo, pois começaram a definhar como consequência da contaminação por metais pesados, provavelmente provenientes dos agrotóxicos. No cultivo de berinjela, a produção de frutos por autopolinização foi muito baixa. Abelhas como *Paratrigona lineata* e *Halictidae* se mostraram polinizadores eficientes desse cultivo com apenas uma visita às flores. Os frutos formados em tratamentos que ocorreram visitas de abelhas foram mais pesados, maiores e apresentaram um maior número de sementes. A partir dos resultados é possível concluir que as abelhas são relevantes nas duas formas de cultivo e que agroflorestas se constituem como ambientes com menor impacto para a população de polinizadores.

ABSTRACT

Environmental services are important to the maintenance of ecosystems and species preservation. Pollination arises as one of them because it has influence in the preservation of vegetables and animals. It is a positive factor in agriculture as it sustains the existence of crops. Pollination by animals is extremely important. Bees stand out as natural habits and crop pollinators. Therefore, the maintenance and preservation of this species is of economic and ecological interest. Understanding the influence of this pollinators in the agricultural environment is greatly important to reinforce the need of conservation. Conventional agricultural ecosystems are different from agroforestry systems, they have different possibilities of coexistence with native fauna. Agroforestry systems are an ecological alternative to the conventional ones. This work aimed to verify the contribution of bees as pollinators in conventional tomato crop and in eggplant crop in an agroforestry system. In tomato cultivation, an increment of pollinators was performed with the introduction of nests of stingless bee *Melipona quadrifasciata*. The objective was to analyze the consequence of this increment in the quality of fruits produced. The effect of bee diversity on tomato fruit production and quality was evaluated before and after the introduction of *M. quadrifasciata* nests in the crop area. In eggplant cultivation the research had as objective: verify the contribution of bees as eggplant pollinators in an agroforestry environment. Through the verification of the contribution of bees to the formation of fruits, observation of the behavior of the bees when visiting the flowers and evaluation of the pollination contribution in the quality of the formed fruits. In tomato crop, there was an increase in the number of seeds produced after the introduction of *M. quadrifasciata* nests. Despite the contribution, the nests were removed from the area of cultivation since they began to define as consequence heavy metals contamination. In eggplant cultivation, fruit production by self-pollination was very low. Bees like *Paratrigona lineata* and Halictidae showed to be efficient pollinators of culture with only one visit to the flowers. The fruits formed in treatments where bees were allowed produced heavier, larger and with greater number of seeds fruits. Analyzing the results, it is possible to conclude that bees are relevant in the two forms of cultivation. Also, that agroforestry constitutes an environment with less impact to the population of pollinators.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A polinização cruzada é um dos mais importantes serviços ecossistêmicos, pois assegura a variabilidade genética da maior parte das espécies vegetais – nativas e cultivares, além de representar um fator importantíssimo na produtividade e qualidade das culturas agrícolas (KREMEM et al., 2005; BREZEE et al., 2011). Representa-se atualmente como fundamental na existência de muitos cultivos, sendo de grande relevância para a alimentação mundial. Estimativas revelam que há uma perda de US\$ 54 bilhões por ano devido à falta de polinização em culturas agrícolas (FAO, 2004). Além disso, caso a polinização seja bem conduzida, ocorre aumento no número de frutos viáveis, na qualidade dos frutos e no número de sementes produzidos de diversos vegetais, inclusive do tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e da berinjela (*Solanum melongena* L.) (DEL SARTO et al., 2005; GEMMILL-HERREN & OCHIENG, 2008; BISPO DOS SANTOS et al., 2009; MONTEMOR & SOUZA, 2009; NUNES-SILVA et al., 2013; BARTELLI & NOGUEIRA-FERREIRA, 2014).

Para que esse serviço ecossistêmico seja realizado, insetos e outros animais podem atuar como polinizadores. Como as larvas das abelhas dependem de néctar e pólen para seu desenvolvimento e as operárias campeiras apresentam constância floral durante o forrageamento, as abelhas se destacam como os maiores polinizadores tanto de plantas nativas, quanto daquelas utilizadas em cultivos (RASMUSSEN et al., 2010). Estima-se que dentre as espécies florais cultivadas no mundo, aproximadamente 73% sejam polinizadas por alguma espécie de abelhas (FAO, 2004).

A família vegetal Solanaceae é uma das maiores representadas nas Angiospermas e de grande relevância econômica (MORAES et al., 2009). O grupo se caracteriza pela presença de anteras poricidas em diversos representantes do gênero *Solanum* (BUCHMANN, 1983), dentre os quais encontram-se o tomate e a berinjela.

A maior parte da produção de alimentos mundial é realizada por meio de cultivos convencionais, muitos deles sendo produzidos na forma de monoculturas. Esse tipo de cultura acarreta uma série de problemas, alguns relacionados à ciclagem de matéria no solo e qualidade da terra, outros à atração exagerada de pragas e, como consequência riscos à saúde pública ocasionados pelos excessos de pulverização (TILMANN et al. 2002). Cultivos agroflorestais

se apresentam como alternativas ecológicas a esse tipo de produção de alimento (SANTOS, 2007). Os sistemas agroflorestais seguem a linha da sucessão ecológica, plantam uma diversidade de espécies (arbóreas, arbustivas, herbáceas) em um mesmo local e em convivência. Alguns deles apresentam uma produção totalmente orgânica, não utilizando adubos, pesticidas e fungicidas, favorecendo os ciclos ecológicos e o controle natural de pragas (SANTOS, 2007). Os cultivos convencionais tendem a produzir uma única espécie em grandes áreas, utilizam vasta adubação química e a maior parte do controle de pragas é realizado por meio de agrotóxicos.

Tanto em culturas convencionais quanto em sistemas agroflorestais a presença dos polinizadores é vital para que a produção de frutos seja bem conduzida. Para que existam abelhas nesses locais é necessário a preservação desses insetos e a preservação de fontes alimentares e de nidificação (HEARD, 1999). O incremento de polinizadores através da introdução de colônias na área de cultivo pode também favorecer a abundância de abelhas nesses locais e por consequência a polinização (VELTHUIS, 2002; BARTELLI & NOGUEIRA-FERREIRA, 2014). Em sistemas agroflorestais as possibilidades de unirmos um manejo orgânico e o incremento de polinizadores, utilizando estratégias de introdução de ninhos, são motivadoras e precisam ser estudadas.

Considerando a importância das abelhas como polinizadoras de cultivos e a diferença que pode existir entre um manejo de agricultura convencional e de um sistema agroflorestal, esse trabalho teve como objetivo geral testar a eficiência das abelhas como polinizadores nesses dois modos de produção de alimento, em cultura de tomate e de berinjela.

O capítulo 1 teve como objetivo analisar o efeito do incremento de polinizadores em um cultivo convencional de tomate. Desta forma, o efeito da diversidade e da taxa de visitação de abelhas na produção e na qualidade dos frutos do tomateiro foram avaliados antes e após a introdução de ninhos de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 na área de cultivo.

O capítulo 2 objetivou verificar a contribuição de abelhas polinizadoras para a produção de berinjela em um ambiente agroflorestal. a. observar o comportamento das abelhas ao visitarem as flores no cultivo de berinjela e b. avaliar a contribuição da polinização na qualidade dos frutos formados.

1.1. REFERÊNCIAS

KREMEN, C. *Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology?* *Ecology Letters*, v.8, p. 468–79, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>

BREEZE, T. D.; BAILEY, A. P.; BALCOMBE, K. G.; POTTS, S. G. Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 142, p. 137-143, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.020>

BISPO DOS SANTOS, S.A.; ROSELINO, A.C.; HRNCIR, M.; BEGO, L.R. Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Genetics and Molecular Research*, v. 8, n. 2, p. 751-757, 2009. <https://doi.org/10.4238/vol8-2kerr015>

DEL SARTO, M. C. L.; PERUQUETTI R. C., CAMPOS, L. A. O. Evaluation of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as pollinator of greenhouse tomatoes. *Journal of Economic Entomology*, v. 98, n. 2, p. 260-266, 2005. <https://doi.org/10.1093/jee/98.2.260>

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture. The international response. En Freitas B.M. e J.O.P. Pereira (Eds.) *Solitary Bees: Conservation, Rearing and Management for Pollination*. Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil. p. 19-25, 2004.

RASMUSSEN, C.; NIEH, J.C.; BIESMEIJER, J.C. *Foraging biology of neglected bee pollinators*. [Editorial] *Psyche*, p.1-2, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/134028>

BARTELLI B.F.; NOGUEIRA-FERREIRA F. H. Pollination services provided by *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses with *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). *Sociobiology*, v. 61, p. 510–516, 2014. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.510-516>

MONTEMOR, K.A.; SOUZA, T. M. Biodiversidade de polinizadores e biologia floral em cultura de berinjela (*Solanum melongena*). *Zootecnia Tropical*. v. 27, n. 1, p. 97–103, 2009.

NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; DA SILVA, C. I.; ROLDÃO, Y. S.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Stingless bees, *Melipona fasciculata*, as efficient pollinators of eggplant (*Solanum melongena*) in greenhouses. *Apidologie*, v. 44, n. 5, p. 537–546, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0204-y>

GEMMILL-HERREN, B.; OCHIENG, A. O. Role of native bees and natural habitats in eggplant (*Solanum melongena*) pollination in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 127, p. 31–36, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.002>

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

MORAES, A. DE O.; MELO, E. DE; AGRA, & FRANÇA, F. A família Solanaceae nos “Inselberges” do semi-árido da Bahia, Brasil. *IHERINGIA, Série Botânica*, Porto Alegre, v. 64, n. 2, p. 109-122, 2009.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, v. 428, 2002.

SANTOS, A. C. A agrofloresta agroecológica: um momento de síntese da agroecologia, uma agricultura que cuida do meio ambiente. *Conjuntura Agrícola*, n. 156, 2007.

VELTHUIS, H. H. W. The historical background of the domestication of the bumblebee, *Bombus terrestris*, and its introduction in agriculture. In: P. G. Kevan & V. L. Imperatriz-Fonseca (eds) - *Pollinating Bees – The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, p. 177-184, 2002.

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. *Annual review of entomology*, v. 44, n. 1, p. 183-206, 1999. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.183>

Capítulo I

2. INCREMENTO DE POLINIZADORES EM CULTIVOS DE TOMATE

2.1. RESUMO

A polinização é imprescindível, na maioria dos casos, para que ocorra a formação de frutos. As abelhas se destacam como principais polinizadores de culturas agrícolas e de ambientes naturais. Em cultivos, caso ocorra de forma eficiente espera-se um aumento na qualidade dos frutos produzidos. O tomate é uma cultura agrícola com importância mundial. A introdução de abelhas sem ferrão em cultivos de tomate em estufa foi estudada por alguns pesquisadores e foi considerada relevante para a polinização e melhoria dos frutos, mas em cultivos abertos não existem informações sobre a introdução de ninhos de abelhas e o reflexo na produção de frutos. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi analisar o efeito do incremento de polinizadores em um cultivo de tomate, utilizando *Melipona quadrifasciata* como objeto de estudo. Para tanto, o efeito da visitação de abelhas na produção e na qualidade dos frutos do tomateiro foi avaliado antes e após a introdução de ninhos de *M. quadrifasciata* na área de cultivo. O número de sementes dos frutos foi maior após o incremento de polinizadores. Para verificar se as operárias de *M. quadrifasciata* visitaram o cultivo, foram conduzidas análises da massa polínica armazenada nas colônias e o resultado foi positivo. Portanto, o aumento no número de sementes pode ser atribuído à polinização realizada pelas abelhas introduzidas. Com a exposição aos agrotóxicos utilizados excessivamente no cultivo de tomate os ninhos introduzidos foram afetados e começaram a definhhar. Foram conduzidas análises de metais pesados para verificar se a diminuição do número de abelhas era mesmo consequência da exposição ao(s) agrotóxico(s). Os resultados mostraram que quando os ninhos estavam expostos na área de cultivo, a concentração de metais pesados encontrados na massa polínica foi maior do que a encontrada quando os ninhos estavam em outra área. A partir desse estudo conclui-se que *M. quadrifasciata* apresenta grande potencial para a polinização do tomateiro em cultivo aberto, mas que para que a introdução das colônias seja possível é necessário repensar o manejo tradicionalmente utilizado nessa cultura.

2.2. ABSTRACT

Pollination is vital, in most cases, to the fruit formation. If crop pollination is well conducted an increase in the quality of the fruits produced is expected. Bees stand out as the main pollinators of agricultural crops and natural environments. Tomato is an agricultural crop of global importance. The introduction of stingless bees into greenhouse tomato crops was studied by some researchers and was considered relevant for pollination and fruit improvement. The objective of this work was to analyze the effect of the pollinators increment in a tomato crop, using the stingless bee *Melipona quadrifasciata* as object of study. The effect of bee's diversity on tomato fruit production and quality was evaluated before and after the introduction of nests in the growing area. As a consequence of the introduction, the number of fruit's seeds were higher after the increase of pollinators. To verify if the foragers of *M. quadrifasciata* were visiting the tomato crop, analyzes of the pollen mass stored in the colonies were conducted. The result was positive. Therefore, the increase in seeds number can be attributed to these bee's influence. Because of the exposure to pesticides used excessively in tomato cultivation the introduced nests were affected and began to languish. Heavy metal analyzes were conducted to verify if littering was really a consequence of exposure to the pesticide. The results were positive. When the nests were exposed to the cultivation area the concentration of heavy metals found in the pollen mass was higher than when the nests were in another area. From this study it is concluded that *M. quadrifasciata* presents great potential as tomato pollinator in open crops. But to make the introduction of the colonies possible it is necessary to rethink the conventional management of this crop.

2.3. INTRODUÇÃO

A polinização é um dos mais importantes serviços ecossistêmicos, visto que assegura a variabilidade genética da maior parte das espécies vegetais, além de representar um fator importantíssimo na produção e qualidade das culturas agrícolas (KREMEM et al., 2005; BREZEE et al., 2011). Além disso, caso a polinização seja bem conduzida, espera-se um aumento no número de frutos viáveis e no número de sementes de diversos vegetais cultivados (ex.: DEL SARTO et al., 2005; BISPO DOS SANTOS et al., 2009; SERRA & CAMPOS, 2010; NUNES-SILVA, et al. 2013; SILVA-NETO, et al. 2013; BARTELLI & NOGUEIRA-FERREIRA, 2014;).

Aproximadamente 85% das espécies vegetais são polinizadas em algum momento de forma biótica, em ambientes tropicais esse valor pode aumentar para 94% (OLLERTON et al. 2011). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), 75% dos cultivares mundiais dependem, pelo menos parcialmente, de polinizadores para a formação de frutos. A valoração dos serviços ecossistêmicos prestados anualmente por insetos polinizadores é de aproximadamente 153 bilhões de euros (GALLAI et al., 2009). Além disso, cerca de 68% dos principais cultivos do Brasil são dependentes de polinizadores (NOVAIS et al., 2016).

Dentro os insetos que contribuem na polinização, as abelhas se destacam como os maiores polinizadores tanto de plantas nativas, quanto daquelas utilizadas em cultivos, pois os imaturos das abelhas dependem de néctar e pólen para seu desenvolvimento e as operárias campeiras apresentam constância floral durante o forrageamento (RASMUSSEN et al., 2010). Portanto, as abelhas apresentam um papel vital na reprodução de grande parte das angiospermas. Estima-se que dentre as espécies florais cultivadas no mundo, aproximadamente 73% sejam polinizadas por alguma espécie de abelhas (FAO, 2004).

Solanum lycopersicum L. (Solanaceae), o tomateiro, é uma hortaliça consumida e cultivada em quase todas as regiões do planeta, inclusive no Brasil. A região Sudeste apresenta a maior produção de tomate no Brasil, sendo o estado de Minas Gerais o segundo maior produtor (702.510 toneladas/ano), precedido apenas pelo estado de São Paulo (1.101.336 toneladas/ano) (IBGE, 2016). A produção de tomate no estado de Minas Gerais ocupa o 6º lugar em valor de produção, movimentando R\$1.011.877³, sendo produzidas 702.510 toneladas e apresentado uma área de cultivo de 10.304 ha (IBGE, 2016).

O tomateiro é uma planta auto fértil, cujas flores produzem apenas pólen em anteras poricidas. Por esse motivo, é necessário um movimento de vibração das flores para que ocorra a liberação de pólen e consequente possível polinização (BUCHMANN, 1983). A polinização cruzada é realizada por meio da visita das abelhas e seu comportamento de coleta de pólen por vibração (*buzz-pollination*) através da contração de seus músculos torácicos. Tal comportamento está presente em diversas espécies de abelhas, incluindo as do gênero *Melipona* (BUCHMANN & HURLEY, 1978; HEARD, 1999). Apesar de não ser dependente de polinização biótica, estudos realizados em estufa e em campo aberto documentaram o incremento da polinização na presença de abelhas, que podem ter influência também na qualidade dos frutos produzidos (BISPO DOS SANTOS et al., 2009; SANTOS, 2013; BARTELLI et al. 2014).

O manejo de abelhas para polinização é comum principalmente para as abelhas *Apis mellifera* L., 1758 e *Bombus terrestris* L., 1758 (fora do Brasil). *Bombus* é usadanas culturas de Solanaceae, família botânica do tomateiro (VELTHUIS, 2002). Contudo, estudos demonstram que abelhas sem ferrão (Meliponini) também são promissoras no uso como polinizadoras de cultivos comerciais (CRUZ & CAMPOS, 2009), já que possuem uma série de vantagens que as tornam mais adequadas para o manejo. Podem ser manejadas com facilidade, já que não causam riscos à saúde humana, possuem ninhos que se mantém por longos períodos, apresentam recrutamento de operárias, estocam uma grande quantidade de alimento, forrageiam com periodicidade (HEARD, 1999) e algumas delas são capazes de realizar a polinização por vibração. Dentre as espécies utilizadas com eficiência comprovada na polinização do tomateiro encontra-se a *M. quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (DEL SARTO et al. 2005; BISPO DOS SANTOS et al., 2009; BARTELLI & NOGUEIRA-FERREIRA, 2014; BARTELLI et al., 2014), abelha que foi utilizada com objeto desse estudo.

Pólen é um recurso extremamente nutritivo para diversas espécies de visitantes florais, incluindo abelhas, visto que representa uma fonte de proteínas, lipídios, minerais e vitaminas (HERBERT JR & SHIMANUKI, 1978; SZCZĘSNA, 2007; AVNI et al., 2014). As abelhas podem complementar sua alimentação coletando de diversas fontes florais. Reconhecer a dieta e comportamento desses polinizadores é importante para determinar se as espécies serão eficientes na polinização de determinadas floradas de cultivares, por exemplo (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 1993). Além de reconhecer as fontes de complementação alimentar representadas por espécies dos remanescentes de vegetação natural. Esse reconhecimento é realizado através da palinologia, uma ciência cujo objeto de estudo é a parte externa (ou parede)

de grãos de pólen e esporos (ERDTMAN, 1986). Através dos estudos de morfologia dos grãos de pólen é possível reconhecer as espécies das quais são oriundos, visto que a morfologia é espécie-específica.

Ademais aos benefícios às flores, diversos produtos das abelhas com grande valor econômico são explorados como mel, pólen, própolis e cera, mas sua importância vai além do aspecto econômico. São também muito importantes na recuperação de ambientes florestais e na conservação de remanescentes de vegetação natural (SILVA & PAZ, 2012), podendo atuar até mesmo como indicadores de qualidade ambiental (TSCHARNTKE et al., 1998).

As abelhas são expostas a poluentes encontrados nas flores de cultivos através da grande quantidade de agrotóxicos aplicada em algumas culturas. Exposição que pode ser prejudicial de forma letal ou sub-letal (FREITAS & PINHEIRO, 2010; PINHEIRO & FREITAS, 2010). Devido à constância de forrageamento, abelhas são altamente afetadas pelos agrotóxicos, podendo ser também acometidas pelo acúmulo de tais contaminantes na água ou solo (BOGNADOV, 2006; FREITAS & PINHEIRO, 2010).

Uma forma de averiguar a contaminação por esses poluentes é a análise de metais pesados. Essas análises já são uma realidade para *Apis mellifera* e seus produtos, tornando-os possíveis indicadores de poluição ambiental (CONTI & BOTRÈ, 2001; FREDES & MONTENEGRO, 2006; PERUGINI et al., 2010). As abelhas atuam como biondicadores em duas possibilidades, quando apresentam uma alta taxa de mortalidade ou quando resíduos de metais pesados são encontrados em seus produtos (CELLI & MACCAGNANI, 2003). Visto que é possível averiguar a contaminação por metais pesados decorrentes do contato com pesticidas agrícolas através da análise dos poluentes por espectrometria de massa (MOUJANNI et al., 2017).

Como se trata de uma questão vital para a reprodução de diversas angiospermas e para produção de alimentos, a manutenção de polinizadores é de extrema importância, tanto no que se refere à benefícios para ambientes agrícolas quanto para os naturais (YAMAMOTO, 2009). As abelhas apresentam relações próximas com ambientes cultivados, visto que muitos deles dependem desses polinizadores para a formação de frutos e em outros a polinização biótica colabora na qualidade dos frutos formados (DEL SARTO et al., 2005; BISPO DOS SANTOS et al., 2009; SERRA & CAMPOS, 2010; NUNES-SILVA et al., 2013; BARTELLI & NOGUEIRA-FERREIRA, 2014; FRANCESCHINELLI et al., 2015). Os cultivos podem favorecer também os polinizadores ao oferecerem fontes amplas de alimento e outros recursos

necessários para a sua sobrevivência, principalmente quando as plantas nativas não apresentam floradas abundantes. Apesar disso, os ambientes naturais não deixam de ser vitais no entorno dos cultivos, visto que lhes oferecem complementação alimentar e locais para nidificação (PINHEIRO et al., 2014).

Para o manejo adequado e preservação de polinizadores nas áreas de cultivos de tomate, são necessários dados referentes à diversidade de abelhas que visitam essa cultura, assim como informações sobre o efeito da polinização por abelhas nativas na quantidade e qualidade dos frutos. Logo, estudos que envolvam o manejo desses insetos são de grande importância, pois reiteram a necessidade da conservação dos polinizadores representantes da fauna do Cerrado. Por esse motivo, esse estudo buscou analisar o efeito da introdução de polinizadores em um cultivo de tomate, utilizando *M. quadrifasciata* como objeto de estudo. Sendo assim, o efeito da diversidade de abelhas na produção e na qualidade dos frutos do tomateiro foi avaliado antes e após a introdução de ninhos de *M. quadrifasciata* na área de cultivo.

2.4. METODOLOGIA

2.4.1. Área de Estudo

O trabalho foi realizado em um cultivo aberto de tomate da variedade *Saladete*, localizado em uma fazenda ($18^{\circ}42'21.68''S$, $48^{\circ}11'18.45''O$; FIGURA 1) em Araguari-MG. O município se caracteriza como um polo de produção de alimentos no Triângulo Mineiro, sendo produzidas 110.500 toneladas de tomate por ano e movimentando R\$ 234.958.000 referentes à venda desse cultivar (IBGE, 2016). O clima da região se caracteriza como tropical e é marcado por duas estações bem definidas, uma seca, que compreende os meses de abril a setembro e uma chuvosa, de outubro a março (ROSA et. al., 1991).



FIGURA 1. Imagem de satélite da fazenda em que os estudos foram conduzidos. Em laranja a representação e tamanhos aproximados do cultivo; em amarelo a representação do rancho de madeira, onde os ninhos de *Melipona quadrifasciata* foram mantidos.

2.4.2. Levantamento inicial de visitantes

Para estimar a diversidade de abelhas visitantes florais no cultivo, foi realizada uma campanha de observação das 7h às 13h, período de maior visitação de abelhas às flores do tomateiro (SANTOS, 2014). Foram definidos 2 *transectos* de 100 metros na linha do cultivo, percorridos durante 30 minutos por hora de observação, os 30 minutos restantes foram reservados para observações comportamentais das abelhas. Todas as abelhas observadas ou ao visitarem as flores nesse período foram registradas, assim como o comportamento que apresentavam no momento da observação (TABELA 1). Alguns indivíduos foram coletados para identificação. As coletas foram realizadas de forma ativa, utilizando rede entomológica. As abelhas foram sacrificadas em câmera de acetato e posteriormente acondicionadas em potes identificados com o horário de coleta. Os exemplares coletados foram alfinetados e incorporados à Coleção Entomológica do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas (LECA) da Universidade Federal de Uberlândia.

2.4.3. Formação e análise de frutos

Para verificar a formação natural de frutos e relacioná-la com a influência dos polinizadores na área, foram marcados ao acaso 120 botões florais nos *transectos* citados anteriormente (2.2.). Desses botões, 60 foram ensacados com sacos de organza e assim permaneceram até o início da formação dos frutos, compondo o tratamento de autopolinização (A). Os demais foram deixados abertos constituindo o tratamento de Livre Visitação (LV).

Os frutos formados foram colhidos após amadurecimento, que foi considerado o momento em que a cor em todo o fruto apresentava a coloração vermelho homogêneo. Em seguida, foram levados para o Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas (LECA) para mensuração dos seguintes parâmetros:

- Massa: mensurada através de balança digital.
- Diâmetro longitudinal: mensurado com paquímetro digital.
- Diâmetro equatorial: medido na parte de maior extensão do fruto, com paquímetro digital.
- Concentração de açúcares totais (°Brix): mensurada com refratômetro manual.
- Número de Sementes: contada de forma direta com a utilização de placa de Petri, pinça e contador manual.

Esses parâmetros que caracterizam os frutos produzidos, foram realizados antes e posteriormente a introdução de polinizadores (item 2.4.4).

2.4.4. Introdução de ninhos

Após as observações, coletas dos visitantes florais e avaliação da produtividade sob condições naturais, foram instalados na proximidade do cultivo 8 (oito) ninhos da abelha *M. quadrifasciata*. Espécie que possui eficiência comprovada na polinização do tomateiro (BARTELLI et. al., 2014; SANTOS et al., 2014). Os ninhos foram posicionados em um rancho de madeira com 2 prateleiras e cobertura de lona amarelada, posicionado na lateral do cultivo (FIGURA 2). As colônias permaneceram no local de 01 de outubro à 11 de novembro de 2016, totalizando 42 dias. Durante esse período os experimentos citados anteriormente (2.4.3.) foram

repetidos. As colônias foram removidas emergencialmente devido à mortandade de operárias apresentada e pela presença de células de crias abertas. Apesar da remoção emergencial das colônias, elas foram mantidas até que as flores já marcadas iniciassem o secamento e queda nos dois tratamentos (A2 e LV2).



FIGURA 2. Pesquisadora manuseando ninho de *Melipona quadrifasciata* no rancho de madeira posicionado próximo ao cultivo.

2.4.5. Coleta de Pólen

Com o intuito de investigar se *M. quadrifasciata* visitou o cultivo de tomate durante os experimentos, foram coletadas 10 amostras de pólen, sendo 9 dos potes de alimento de 6 colônias e uma amostras de pólen da corbícula de operárias. Para comparação, foi também coletado poólen de flores do tomateiro. Para retirada do pólen estocado nos ninhos, os potes foram abertos com auxílio de uma espátula de plástico e o pólen não fermentado da parte superior foi coletado. As operárias forrageiras foram capturadas no momento da chegada ao ninho e o pólen em suas corbículas foi retirado com o auxílio de uma pinça e acondicionado em potes plásticos. De cada amostra polínica, foram confeccionadas 3 lâminas utilizando gelatina

glicerinada (SALGADO-LABOURIAU, 1973), seguindo o protocolo de acetólise (ERDTMAN, 1960).

Para a contagem dos grãos de pólen, as lâminas foram divididas em 4 quadrantes e contados os 100 primeiros grãos de pólen encontrados, totalizando 400 grãos por lâmina e 1200 grãos por amostra (VILHENA et al., 2012). Os grãos de pólen foram classificados como “pólen de tomate” e “outros” (TABELA 2). Quando a abundância relativa de grãos de pólen do tomateiro foi inferior a 3%, foram considerados contaminantes (RABELO, 2012). As lâminas confeccionadas com os grãos de pólen da flor de tomate não foram analisadas, sendo utilizada apenas como referência para o reconhecimento dos grãos de pólen dessa espécie.

2.4.6. Análise de metais pesados

Como consequência da introdução dos ninhos de *M. quadrifasciata* na área de cultivo de tomate as abelhas foram expostas à contaminação por agrotóxicos, já estes eram aplicados nas plantas cerca de 3 vezes por semana. Para verificar se os poluentes constituintes dos agrotóxicos usados no manejo do tomateiro acometeram as colônias, foram coletados pólen, cerume e lixo de 6 ninhos, para a realização da investigação da presença e análise da concentração de alguns metais pesados. Pólen de potes de alimento de 3 destes ninhos foi novamente coletado, 8 meses após a transferência dos ninhos para a Fazenda Experimental do Glória (Uberlândia, MG) e também encaminhados para a análise de metais pesados.

As amostras coletadas foram armazenadas em freezer e encaminhadas para o Laboratório de Biocombustível e Tecnologia Ambiental (LaBTA) da ESTES/UFU, para pesagem e digestão em ácido nítrico (HNO^3) e peróxido de hidrogênio (H_2O^2), seguido de aquecimento a 200°C, resfriamento e adição de água deionizada até o volume de 12ml. Posteriormente à digestão, os metais pesados presentes foram estimados utilizando espectrometria de emissão óptica (ICP-OES - Agilent-725). Dentre as substâncias que podem ser estimadas por este aparelho, foram escolhidas para análise as que comumente são encontradas em agrotóxicos comercialmente utilizados em cultivos de tomate ou que de alguma forma são prejudiciais às abelhas: cádmio (Cd), crômio (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn).

2.4.7. Análises estatísticas

Para as análises dos frutos foram realizados testes *t* para duas amostras. Os dados foram analisados visualmente para normalidade e homogeneidade. Concentração de açúcares totais (Brix^o) não respondeu as premissas de normalidade e de homogeneidade de variâncias, portanto para esse parâmetro foi realizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney. Os parâmetros foram analisados comparando-se os tratamentos de autopolinização e de livre visitação antes e após a introdução de ninhos de *Melipona quadrifasciata*. Também foram realizadas comparações entre os tratamentos de livre visitação antes e após a introdução. Foram realizadas correlações de Pearson para relacionar número de sementes e as demais variáveis (massa, diâmetro longitudinal e equatorial e açúcares totais). Para a comparação da quantidade de metais pesados misturados a massa polínica estocada nos ninhos instalados no cultivo e da posterior retirada deles da localidade, foram realizados testes de Mann-Whitney.

2.5. RESULTADOS

2.5.1. Diversidade de abelhas na área

Foram registrados 759 indivíduos de 12 espécies diferentes, listados na TABELA 1. *Paratrigona lineata* Lepeletier, 1836 foi a espécie mais representativa com 651 registros, seguida de *Exomalopsis analis* Spinola, 1853 com 56 registros.

TABELA 1. Listagem dos indivíduos registrados na área de estudo por espécie, gênero ou família, porcentagem de ocorrência e comportamento de coleta observado nas flores. IO = Indivíduos Observados, IC = Indivíduos Coletados.

Classificação Taxonômica	Nº de abelhas registradas	%	Comportamento de coleta
<i>Apis mellifera</i> (L., 1758)	3	0,39	Milking
<i>Bombus</i> sp. (Latreille, 1802)	1	0,13	Buzz-pollination
<i>Centris</i> sp. (Fabricius, 1804)	2	0,26	Buzz-pollination
<i>Eulaema nigrita</i> (Lepeletier, 1841)	1	0,13	Buzz-pollination
<i>Exomalopsis analis</i> (Spinola, 1853)	56	7,38	Buzz-pollination

<i>Exomalopsis fulvofasciata</i> (Smith, 1879)	11	1,45	Buzz-pollination
Halictidae	27	3,56	Buzz-pollination
<i>Melipona quinquefasciata</i> (Lepeletier, 1836)	1	0,13	Buzz-pollination
<i>Oxaea flavescens</i> (Klug, 1807)	1	0,13	Buzz-pollination
<i>Paratrigona lineata</i> (Lepeletier, 1836)	651	85,77	Milking
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	1	0,13	Pilhagem
<i>Xylocopa</i> sp. (Latreille, 1802)	4	0,53	Buzz-pollination
Total	759	100	

As abelhas registradas apresentam dois tipos de comportamento de coleta *milking* e *buzz-pollination*. No primeiro, os grãos de pólen são retirados do ápice do cone das anteras com a inserção e remoção da glossa. O segundo se refere ao comportamento de polinização por vibração, no qual a abelha agarra o ápice do cone com as pernas e vibra músculos do tórax.

2.5.2. Análise dos frutos

Dos 120 botões florais marcados, foram analisados 44 frutos do tratamento de autopolinização (A1) e 53 do tratamento de livre visitação (LV1), totalizando 97 frutos. Ao comparar os tratamentos A1 e LV1 não houve diferença significativa para os parâmetros: massa ($t = 0,057$; g.l.= 95; $p = 0,955$), diâmetro longitudinal ($t = 0,876$; g.l.= 95; $p = 0,383$), diâmetro equatorial ($t = -0,943$; g.l.= 95; $p = 0,348$), número de sementes ($t = 0,179$; g.l.= 95; $p = 0,858$) e concentração de açúcares totais (${}^{\circ}\text{Brix}$, $U = 1.158,0$; g.l.= 1; $p = 0,858$).

Houve correlação positiva entre número de sementes e a massa ($r = 0,487$, g.l. = 10, $p < 0,0001$, FIGURA 3a); número de sementes e o diâmetro longitudinal ($r = 0,364$, g.l. = 10, $p < 0,0001$, FIGURA 3b); número de sementes e o diâmetro equatorial ($r = 0,377$, g.l. = 10, $p < 0,0001$, FIGURA 3c). Entretanto, não houve correlação entre o número de sementes e a concentração de açúcares totais ($r = -0,086$, g.l. = 10, $p = 0,401$).

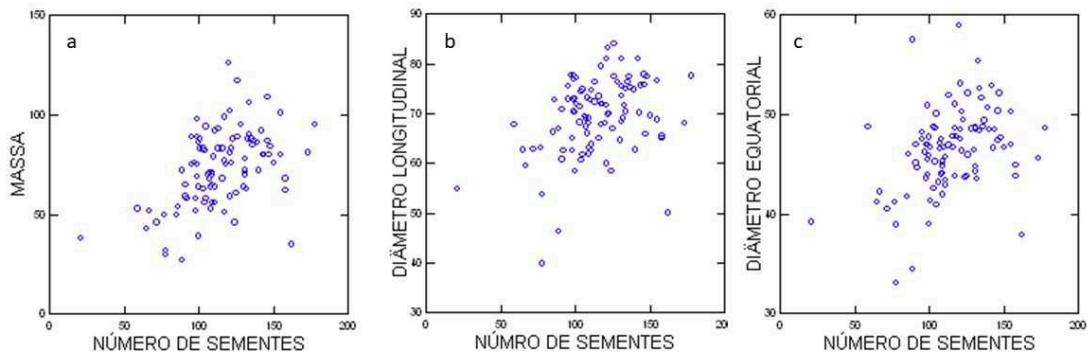


FIGURA 3. Correlação entre número de sementes e massa (a), diâmetro longitudinal e número de sementes (b) e diâmetro equatorial e número de sementes (c) dos frutos de tomate analisados.

2.5.3. Efeito do incremento de polinizadores

Após a introdução dos ninhos na área de estudo, o experimento de polinização entre autopolinização (A2) e de livre visitação (LV2) foi repetido e os frutos resultantes foram analisados. Dos 120 botões marcados 47 frutos foram colhidos e analisados, sendo, 27 frutos do tratamento de autopolinização (A2) e 20 do tratamento de livre visitação (LV2).

Ao comparar os tratamentos A2 e LV2 não houve diferença estatisticamente significativa em relação ao diâmetro equatorial dos frutos ($t = 0,086$; g.l.= 45; $p = 0,932$). A diferença entre massa ($t = 2,251$; g.l.= 45; $p = 0,029$), diâmetro longitudinal ($t = 2,755$; g.l.= 45; $p = 0,008$), concentração de açúcares totais ($U = 383,5$; g.l.= 1; $p = 0,005$) e número de sementes ($t = -3,986$; g.l.= 45; $p < 0,0001$) foram significativos estatisticamente. O número de sementes foi maior no tratamento de LV2 do que no de A2 (FIGURA 4).

O número de sementes apresentou correlação positiva com o diâmetro equatorial ($r = 0,280$, g.l. = 10, $p = 0,057$ /FIGURA 5) e não apresentou correlação significativa com os demais parâmetros analisados: número de sementes e massa ($r = 0,039$, g.l. = 10, $p = 0,795$), número de sementes e diâmetro longitudinal ($r = -0,163$, g.l. = 10, $p = 0,272$), número de sementes e concentração de açúcares totais ($r = -0,070$, g.l. = 10, $p = 0,642$).

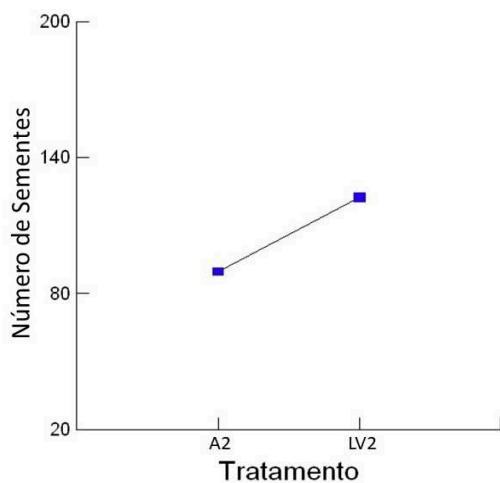


FIGURA 4. Número de sementes obtidos nos frutos analisados nos tratamentos de autopolinização (A2) e de livre visitação (LV2). As caixas representam o desvio padrão em cada tratamento.

Após a introdução dos ninhos de *M. quadrifasciata* no cultivo observou-se uma diminuição considerável no número de operárias campeiras e o enfraquecimento de todas as colônias, o que nos levou a retirá-las da área do cultivo e a realizar análises para verificar a possibilidade de existência de metais pesados nas operárias e no pólen estocado nos ninhos. As abelhas introduzidas não foram observadas visitando as flores do cultivo, sendo assim, foram realizadas análises da carga de pólen coletada por elas, para verificar a existência de grãos de pólen do tomateiro.

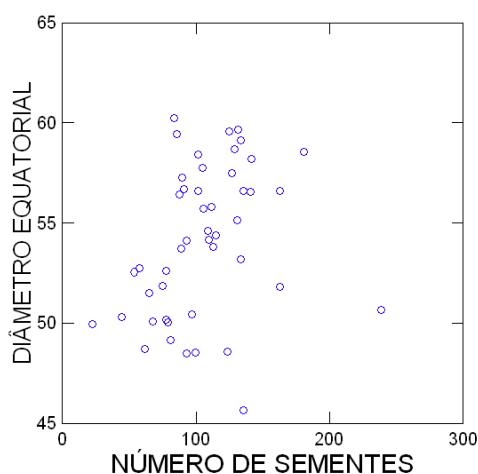


FIGURA 5. Correlação entre número de sementes e diâmetro equatorial dos frutos após o incremento de polinizadores.

Os frutos decorrentes dos tratamentos de livre visitação antes e após a introdução dos ninhos foram comparados estatisticamente. Não existiu diferença significativa entre tratamentos LV1 e LV2 quanto aos parâmetros diâmetro longitudinal ($t = 0,249$, g.l. = 71, $p = 0,804$), concentração de açúcares totais ($U = 543,0$, g.l. = 1, $p = 0,856$) e número de sementes ($t = -1,736$, g.l. = 71, $p = 0,087$). Entretanto, foi encontrada diferença significativa entre tratamentos LV1 e LV2 quanto aos parâmetros massa ($t = -3,509$, g.l. = 71, $p = 0,001$) e diâmetro equatorial ($t = -6,228$, g.l. = 71, $p < 0,0001$), sendo a massa e o diâmetro equatorial do tratamento LV2 maiores do que os do tratamento LV1.

2.5.4. Análise de pólen

Foi encontrado pólen da flor do tomateiro, em quantidades maiores de 3%, na amostra coletada da corbícula das operárias (amostra 10, FIGURA 6) e em três amostras de pólen coletadas nos potes de alimento (amostras 3, 5 e 6, FIGURA 6).

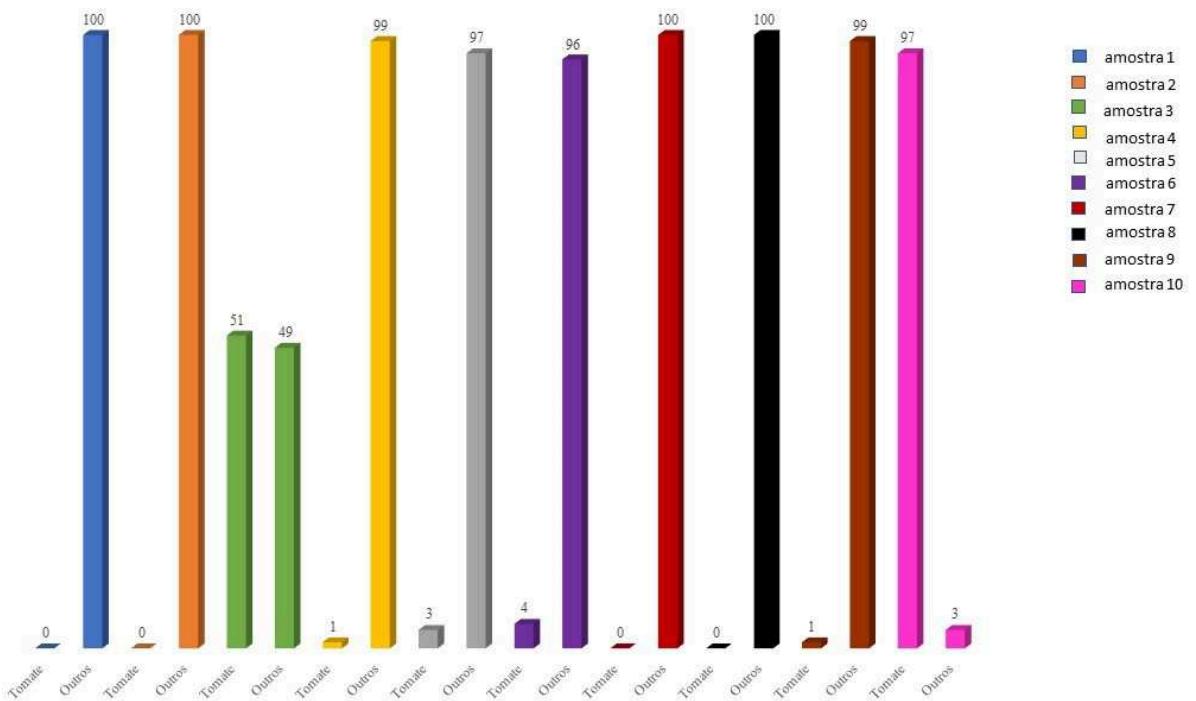


Figura 6. Abundância de pólen de tomate e outros encontrada nas amostras. Amostras 1 a 9 são de pólen retirado dos potes de alimento. Amostra 10, pólen retirado da corbícula de operárias.

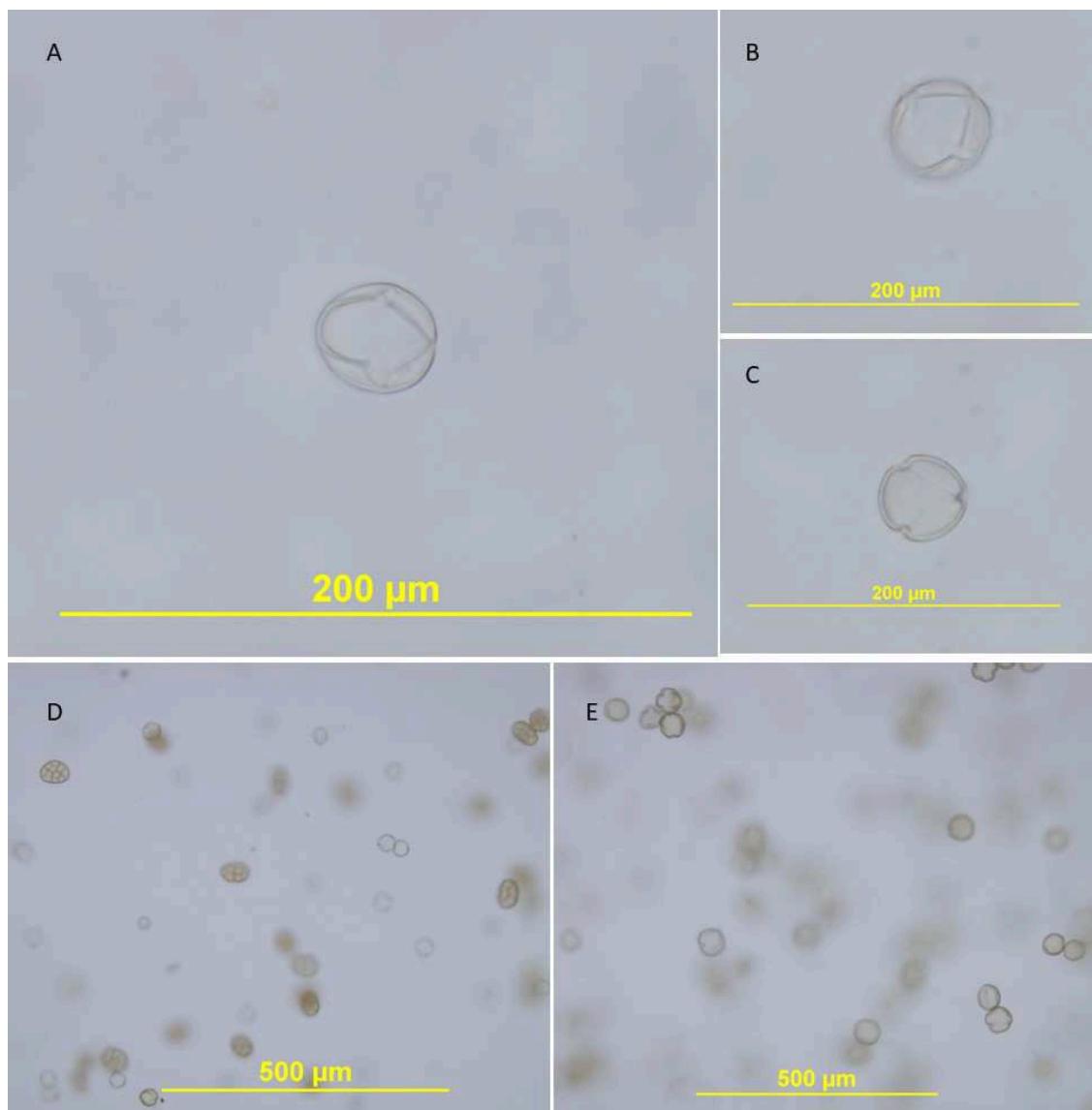


FIGURA 7. Imagens de microscopia de grãos de pólen. A, B, visão equatorial do pólen da flor de tomate, C, visão polar. Em objetiva de 40x com aumento. D, visão geral dos grãos de pólen de uma das lâminas, evidenciando grãos do tomateiro e outros. E, visão dos grãos de pólen da corbícula, evidenciando pólen do tomateiro e outros. Em objetiva de 10x.

2.5.5. Análise de metais pesados

Nem todo o material coletado foi plausível de ser analisado quanto à presença de metais pesados, pois de acordo com o protocolo experimental para esta análise é necessária a massa mínima de 0,5 g por amostra. Sendo assim, foi possível analisar somente amostras de material coletado na área de lixo do ninho 4 (LIXO 4), uma operária morta encontrada no lixo de um dos ninhos (MQ), o cerume do ninho 3 (C3), o pólen e o barro da entrada de um ninho (PE),

pólen de potes de alimento de três ninhos (PPA 1, 2, 3) coletados durante a permanência dos ninhos no cultivo. Das amostras coletadas após a transferência dos ninhos para a Fazenda Experimental do Glória foram analisadas amostras de pólen de potes de alimento de três ninhos (PFAZ 1, 2 e 3). A TABELA 3 apresenta a listagem da concentração (ppm) de cada metal pesado encontrado por amostra. Foi realizada uma média aritmética entre as amostras coletadas durante a permanência dos ninhos no cultivo de tomate e aquelas coletadas na Fazenda. O metal pesado cádmio (Cd) foi encontrado apenas na amostra de pólen da entrada do ninho (PE) em concentração de 0,168 ppm, por isso não se encontra listado na TABELA 3.

TABELA 2. Concentração dos metais pesados (ppm) encontrados em cada amostra analisada. Amostra: LIXO4= material coletado na área de lixo do ninho 4, MQ= operária encontrada morta no lixo de um dos ninhos, C3= cerume retirado do ninho 3, PE= pólen encontrado na entrada de um ninho, PPA= Pólen de potes de alimento coletado no cultivo, PFAZ= pólen retirado de potes de alimento de ninhos transferidos para a Fazenda Experimental do Glória.

Amostra	Metal Pesado (ppm)					
	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
LIXO4	12,362	6,102	15,601	4,691	3,566	21,677
MQ	144,577	19,665	31,911	57,085	13,431	98,808
C3	131,430	6,443	44,803	52,830	4,908	107,321
PE	41,973	14,702	107,285	8,874	6,374	86,071
PFAZ	17,689	12,280	64,439	6,747	6,068	48,174
PPA	153,458	18,625	37,390	61,436	12,044	153,929

As concentrações dos metais pesados encontradas nos grãos de pólen foram comparadas entre o pólen coletado durante a permanência dos ninhos no cultivo de tomate e o pólen coletado 8 meses após a retirada dos ninhos do plantio, quando se encontravam instalados na Faz. Exp. do Glória. Foram encontradas diferenças significativas para os seguintes elementos: Cr ($U = 0,0$; $g.l.=1$; $p = 0,050$), Mn ($U = 9,0$; $g.l.=1$; $p = 0,050$), Ni ($U = 0,0$; $g.l.=1$; $p = 0,050$), Pb ($U = 0,0$; $g.l.=1$; $p = 0,050$), Zn ($U = 0,0$; $g.l.=1$; $p = 0,050$), não foi encontrada diferença significativa para Cu ($U = 3,0$; $g.l.=1$; $p = 0,513$). Com exceção de Mn, maiores concentrações de metais pesados foi encontrada no pólen coletado nos ninhos durante a permanência no cultivo (FIGURA 7).

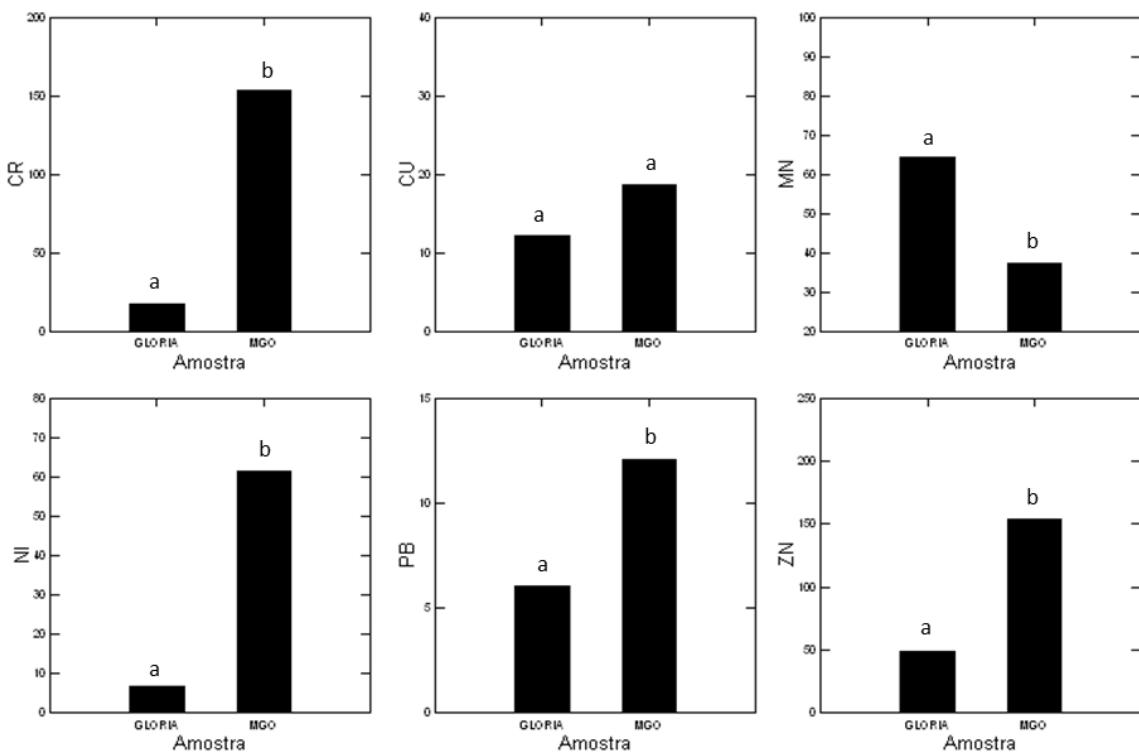


FIGURA 8. Concentração de metais pesados (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn) por amostra de pólen coletada, durante a permanência dos ninhos no cultivo (MGO) e 8 meses após a transferência para a Fazenda Experimental do Glória (GLÓRIA).

2.6. DISCUSSÃO

A partir da amostragem de visitantes florais no cultivo de tomate foi possível constatar a ausência de *M. quadrifasciata*, antes da introdução dos ninhos, dessa forma, a partir deste procedimento, foi realizado o incremento de um polinizador potencial que não foi registrado na área estudada, já que foi encontrado pólen de tomate no interior dos potes de pólen dos ninhos e na corbícula de uma operária. Entretanto, com a realização dos testes de polinização, foi possível constatar que na área de estudo não existe déficit de polinização, visto que não foi encontrada diferença entre os tratamentos de autopolinização (A1) e de livre visitação (LV1). É sabido que o vento é importante liberador de pólen, mesmo em plantas com anteras poricidas, sendo a área onde o estudo foi realizado caracterizada por ser um local onde o vento é sempre presente e intenso. Desta forma, este fator abiótico pode ter favorecido a liberação e a dispersão de grãos de pólen, colaborando para ataxia de formação de frutos nos tratamentos de autopolinização e de livre visitação.

A partir dos parâmetros analisados nos tomates resultantes dos experimentos realizados foi constatada a existência de correlação entre o número de sementes e os fatores relacionados ao tamanho dos frutos (massa, diâmetro longitudinal e equatorial), visto que frutos de tomate que possuem um maior número de sementes tendem a receber um maior investimento das plantas (IMANSHI & HIURA, 1975).

Ocorreu uma diminuição considerável na quantidade de frutos analisados após o incremento de polinizadores, fato que pode ser atribuído à uma doença adquirida pelo cultivo. Doença essa provocada por um fungo, que causou prejuízos ao produtor e à coleta de dados neste trabalho. Foi constatado um aumento na taxa de formação de sementes, visto que o número de sementes do tratamento de livre visitação (LV2) foi diferente do de autopolinização (A2), efeito inexistente antes da introdução dos ninhos de *M. quadrifasciata*. Considerando a existência desse fenômeno o aumento do número de sementes causado pela visitação das abelhas é positivo. Estudos realizados em estufas comprovaram a eficiência desses polinizadores na melhora de frutos (em tamanho, massa e concentração de açúcares) do tomateiro (BISPO DOS SANTOS et al., 2009; BARTELLI & NOGUEIRA-FERREIRA, 2014), o que também demonstra a contribuição dessa espécie na polinização desse cultivar.

As operárias de *M. quadrifasciata* não foram diretamente observadas visitando o cultivo de tomate. Entretanto, foi constatada a presença de pólen de tomate nos potes de alimento dos ninhos e em praticamente toda a massa de pólen encontrada na corbícula de operárias. Desta forma, concluímos que as operárias estavam coletando nas flores do tomateiro. A ausência de operárias forrageando nas flores do tomateiro, pode estar relacionada à mortalidade decorrente do contato das abelhas com os agrotóxicos, que podem causar diversos efeitos negativos à sobrevivência das abelhas (FREITAS & PINHEIRO, 2010; PINHEIRO & FREITAS, 2010)

Metais pesados como cálcio, manganês, magnésio, zinco, cobre, ferro, sódio e potássio existem naturalmente no pólen, mas em grandes quantidades qualquer um deles pode ser prejudicial aos seres vivos (SZCZĘSNA, 2007). Por se tratar de um produto biológico, o pólen pode ser contaminado naturalmente por metais pesados prejudiciais como cádmio, chumbo, mercúrio e arsênico. O grão de pólen é contaminado, na maioria das vezes, por esses metais pesados por meio da contaminação ambiental do solo ou água (SZCZĘSNA, 2007). Esses metais podem oferecer sérios riscos à população humana (SEARS et al., 2012) e também podem ser prejudiciais às abelhas. Um estudo com a abelha *Osmia rufa* mostrou que grandes quantidades de zinco podem aumentar a mortalidade da prole (SZENTGYÖRGYI et al., 2010),

o que foi expresso em nosso estudo pelo início de desestruturação dos ninhos (diminuição da população e destruição de algumas células de cria).

Bordanov (2006) constatou que concentrações de cádmio entre 0.02-3.9 ppm e de chumbo entre 0.05–2.3 ppm presentes no pólen, são consideradas prejudiciais para o consumo humano. Em nossos resultados, a concentração de cádmio encontrada no pólen da entrada de um dos ninhos de *M. quadrifasciata* foi de 0,168 ppm e se enquadra nesse valor. Já para o chumbo, a concentração encontrada (12,044 ppm) fica muito acima do valor descrito, mostrando que o pólen daqueles ninhos se encontrava contaminado e impróprio para o consumo humano. Morón et al. (2012), encontraram uma correlação negativa entre o aumento do índice de poluição do pólen e a quantidade de abelhas encontradas, ou seja, quanto maior a poluição por metais encontrada no pólen, menor a quantidade de abelhas amostradas na localidade. Além disso, a poluição por metais pesados é um fator considerado importante no entendimento do declínio de abelhas na Europa (KOSIOR et al., 2007).

Observando uma diminuição considerável na concentração de metais pesados após a remoção das colônias do cultivo é evidente que a poluição local influenciou no acúmulo desses contaminantes nos ninhos de *M. quadrifasciata*, o que pode ter ocasionado o enfraquecimento e consequente perda de alguns desses ninhos. Este fato, provavelmente deve ter ocorrido devido às altas doses de agrotóxicos aplicadas no cultivo com o intuito de controlar a infestação e a proliferação de fungos, bactérias e vírus.

2.7. CONCLUSÕES

Concluímos que *M. quadrifasciata* visitou o tomateiro em cultivos abertos, podendo ser utilizada em projetos de polinização nestes cultivos, visto que após a introdução dos ninhos houve aumento no número de sementes dos frutos analisados. Entretanto, a proposição do uso rotineiro da meliponicultura em áreas de cultivos de tomate, como uma estratégia para o incremento de polinizadores, deve ser realizada com cautela. Muitas arestas ainda precisam ser aparadas no que diz respeito ao manejo dos cultivos, ao que refere ao uso de agrotóxicos, pois este foi comprovadamente prejudicial às colônias de abelhas, causando a contaminação por metais pesados nos ninhos e a morte de abelhas. Alternativas como a utilização de defensivos orgânicos, controle biológico e a diminuição do uso de agrotóxicos, devem ser pensadas junto aos produtores, com o objetivo manter a diversidade de abelhas polinizadoras, e um

consequente, aumento na qualidade dos frutos e valor comercial, além é claro, da conservação da biodiversidade de abelhas nativas.

2.8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos produtores Paulo e Wellington por nos permitirem trabalhar em seus cultivos e doaram os frutos produzidos para as análises. Agradecemos também a Nicole Cristina Machado Borges, Jaqueline Eterna Batista, Raysa Sales Teixeira, Larissa Chagas de Oliveira e Vinícius Eduardo Martino Fonseca que auxiliaram nos trabalhos de campo ou análises dos frutos. Ao Prof. Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira por ter cedido o Laboratório de Morfologia, Microscopia e Imagem (LAMOVI) para as análises de pólen, à Thayane Nogueira Araújo por ter auxiliado com a preparação das lâminas de pólen. Assim como à Profa. Dra. Camila Nonato Junqueira da Escola Técnica de Saúde (ESTES-UFU) e Jéssica Silva pelas análises de metais pesados. BMCG agradece pela sua bolsa de mestrado ofertada pela CAPES. Bruno Ferreira Bartelli agradece à FAPEMIG pela sua bolsa de doutorado. Agradecemos imensamente ao fomento e apoio do CNPq e FAPEMIG para a realização do projeto.

2.9. REFERÊNCIAS

AVNI, D.; HENDRIKSMA, H. P.; DAG, A., UNI, Z.; SHAFIR, S. Nutritional aspects of honeybee-collected pollen and constraints on colony development in the eastern Mediterranean. *Journal of Insect Physiology*, v. 69(C), p. 65–73, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.07.001>

BARTELLI B.F.; NOGUEIRA-FERREIRA F. H. Pollination services provided by *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses with *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). *Sociobiology*, v. 61, p. 510–516, 2014.
<https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.510-516>

BARTELLI, B. F.; SANTOS, A. O. R.; NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Colony Performance of *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera, Meliponina) in a Greenhouse of *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae). *Sociobiology*, v. 61, p. 60-67, 2014.
<https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i1.60-67>

BISPO DOS SANTOS, S.A.; ROSELINO, A.C.; HRNCIR, M.; BEGO, L.R. Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Genetics and Molecular Research*, v.8, n. 2, p. 751-757, 2009.
<https://doi.org/10.4238/vol8-2kerr015>

BOGDANOV, S. Contaminants of bee products. *Apidologie*, v. 37, n. 1, p. 1–18, 2006.
<https://doi.org/10.1051/apido:2005043>

BREEZE, T. D.; BAILEY, A. P.; BALCOMBE, K. G.; POTTS, S. G. Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 142, p. 137-143, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.020>

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

BUCHMANN, S. L.; HURLEY, J. P. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. *Journal of Theoretical Biology*, v. 72, p. 639-657, 1978. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(78\)90277-1](https://doi.org/10.1016/0022-5193(78)90277-1)

CELLI, G.; MACCAGNANI, B. Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, v. 56, n. 1, p. 137-139, 2003.

CONTI, M. E.; BOTRÈ, F.. Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination. *Environmental monitoring and assessment*, v. 69, n. 3, p. 267-282, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010719107006>

CRUZ, D. O.; CAMPOS,L. A. O. Polinização por abelhas em cultivos protegidos. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 15, p. 5-10. 2009.

DEL SARTO, M. C. L.; PERUQUETTI R. C., CAMPOS, L. A. O. Evaluation of the neotropical stingless bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae) as pollinator of greenhouse tomatoes. *Journal of Economic Entomology*, v. 98, n. 2, p. 260-266, 2005. <https://doi.org/10.1093/jee/98.2.260>

ERDTMAN, G. *Angiosperms (An introduction to palynology I)*. Pollen Morphology and Plant Taxonomy, The Chronica Botanica CO, Waltham, Mass. U.S.A, 1960.

ERDTMAN, G. *Pollen morphology and plant taxonomy: angiosperms*. Brill Archive, 1986.

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture. The international response. En Freitas B.M. e J.O.P. Pereira (Eds.) *Solitary Bees: Conservation, Rearing and Management for Pollination*. Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil. p. 19-25, 2004.

FREDES, C.; MONTENEGRO, G. Heavy metal and other trace elements contents in honey bee in Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, v. 33, n. 1, p. 50-58, 2006. <https://doi.org/10.7764/rcia.v33i1.328>

FREITAS, B. M. & PINHEIRO, J. N. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. *Oecologia Australis*, v. 14, n. 1, p. 282-298, 2010. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1401.17>

GALLAI, N.; SALLES, J. M.; SETTELE, J.; VAISSIÈRE, B. E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological economics*, v. 68, n. 3, p. 810-821, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review Entomology*, v. 44, p. 183-206, 1999. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.183>

HERBERT, E. W. & SHIMANUKI, H. Chemical Composition and Nutritive Value of Bee-Collected and Bee-Stored Pollen. *Apidologie*, v. 9, n. 1, p. 33–40, 1978.
<https://doi.org/10.1051/apido:19780103>

IBGE. 2016. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 23 de novembro de 2017.

IMANISHI, S., & HIURA, I. Relationship between fruit weight and seed content in the tomato. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 44(1), 33-40, 1975.
<https://doi.org/10.2503/jjshs.44.33>

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; RAMALHO, M.; KLEINERT, A. de M. P. Abelhas sociais e flores: análise polínica como método de estudo. In: *Flores e Abelhas em São Paulo* [S.l.: s.n.], 1993.

KOSIOR, A.; CELARY, W.; OLEJNICZAK, P.; FIJAŁ, J.; KRO' L, W.; SOLARZ, W.; PŁONKA, P. The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera:Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. *Oryx*, v. 41, p. 79–88, 2007.
<https://doi.org/10.1017/S0030605307001597>

KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, v.8, p. 468–79, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00751.x>

MORÓŃ, D. et al. Abundance and diversity of wild bees along gradients of heavy metal pollution. *Journal of Applied Ecology*, v. 49, n. 1, p. 118–125, 2012.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02079.x>

MOUJANNI, A.; TERRAB, A.; EDDOHA, R.; NASSER, B.; BENBACHIR, M.; TANNAOUI, M.; ZOUAOUI, A.; ESSAMADI, A. K. Quantification of heavy metals and pesticides residues in labeled Moroccan *Euphorbia resinifera* honey from Tadla-Azilal. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, v. 8, n. 5, p. 1826-1836, 2017.

NOVAIS, S. M. A.; NUNES, C. A.; SANTOS, N. B.; D'AMICO, A. R.; FERNANDES, G. W.; QUESADA, M.; ... NEVES, A. C. O. Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. *PLoS ONE*, v. 11, n. 11, p. 1–12, 2016.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167292>

NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; DA SILVA, C. I.; ROLDÃO, Y. S., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Stingless bees, *Melipona fasciculata*, as efficient pollinators of eggplant (*Solanum melongena*) in greenhouses. *Apidologie*. v. 44, n. 5, p. 537–546, 2013.
<https://doi.org/10.1007/s13592-013-0204-y>

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, v. 120, n. 3, p. 321–326, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

PERUGINI, M.; MANERA, M.; GROTTA, L.; ABETE, M. C.; TARASCO, R.; AMORENA, M. Heavy Metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) Contamination in Urban Areas and Wildlife Reserves: Honeybees as Bioindicators. *Biological Trace Element Research*, v. 140, n. 2, p. 170-176, 2010. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8688-z>

PINHEIRO, J. N. & FREITAS, B. M. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. *Oecologia Australis*, v. 14, n. 1, p. 266-281, 2010. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1401.16>

- PINHEIRO, M.; GAGLIANONE, M. C.; NUNES, C. E. P.; SIGRIST, M. R.; SANTOS, I. A. Polinização por Abelhas. In: *Biologia da Polinização*. RECH, A.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P. E.; MACHADO, I. C. (orgs.). Editora Projeto Cultural. Rio de Janeiro, 2014.
- RABELO, L. S. *Diversidade de fontes de pólen utilizadas por abelhas Centridini em áreas do Cerrado*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais). Instituto de Biologia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- RASMUSSEN, C.; NIEH, J.C.; BIESMEIJER, J.C. *Foraging biology of neglected bee pollinators*. [Editorial] *Psyche*, p.1-2, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/134028>
- ROSA, R.; LIMA, S. C. C.; ASSUNÇÃO, W.L. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). *S & N*, n. 3, p. 91-108, 1991.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. *Contribuição à palinologia dos Cerrados*. Academia Brasileira de Ciências, 1973.
- SANTOS, A. O. R. *Polinizadores potenciais de Lycopersicon esculentum Mill. (Solanaceae) em áreas de cultivo aberto*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais). Instituto de Biologia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- SANTOS, A. O. R., BARTELLI, B. F., NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. 2014. Potential Pollinators of Tomato, *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae), in Open Crops and the Effect of a Solitary Bee in Fruit Set and Quality. *Journal of Economic Entomology*, v.107, p.987 - 994, 2014. <https://doi.org/10.1603/EC13378>
- SEARS, M. E.; KERR, K. J.; BRAY, R. I. Arsenic, Cadmium, Lead, and Mercury in Sweat: A Systematic Review. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2012, 2012.
- SERRA, B. D. V.; CAMPOS, L. O. Polinização entomófila de abobrinha, *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Neotropical Entomology*, v. 39, n. 2, p. 153–159, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000200002>
- SILVA, W., & PAZ, J. Abelhas sem ferrão: muito mais do que uma importância econômica. *Natureza on line*, v. 10, p. 146–152, 2012.
- SILVA-NETO, C. M.; LIMA, F. G.; GONÇALVES, B. B.; BERGAMINI, L. L.; BERGAMINI, B. A. R.; ELIAS, M. A. S.; FRANCESCHINELLI, E. V. Native Bees Pollinate Tomato Flowers and Increase Fruit Production. *Journal of Pollination Ecology*, v. 11, n. 6, p. 41-45, 2013.
- STEEN, J. J. M.; KRAKER, J.; GROTHUIS, T. Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 184, p. 4119–4126, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2248-7>
- SZCZĘSNA, T. Concentration of Selected Elements in Honeybee-Collected Pollen. *Journal of Apicultural Science*, v. 51, n. 1, p. 5–13, 2007.
- SZENTGYÖRGYI, H. et al. The effect of heavy metal pollution on the development of wild bees. *Atlas European Project Alarm*, p. 224–225, 2010.
- TSCHARNTKE, T.; GATHMANN, A.; STEFFAN-DEWENTER, I. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions.

Journal of Applied Ecology, v. 35, n. 5, p. 708–719, 1998. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.355343.x>

VELTHUIS, H. H. W. The historical background of the domestication of the bumblebee, *Bombus terrestris*, and its introduction in agriculture. In: P. G. Kevan & V. L. Imperatriz-Fonseca (eds) - *Pollinating Bees – The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, p. 177-184, 2002.

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

VILHENA, A. M. G. F., RABELO, L. S., BASTOS, E. M. A. F., & AUGUSTO, S. C. Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. *Apidologie*, v. 43, n. 1, p. 51-62, 2012.
<https://doi.org/10.1007/s13592-011-0081-1>

Capítulo II

3. POLINIZAÇÃO POR ABELHAS PARA A PRODUÇÃO DE FRUTOS DE *Solanum melongena* (Solanaceae) EM SISTEMA AGROFLORESTAL

3.1. RESUMO

Sistemas agroflorestais são uma forma de produção de alimento que misturam árvores lenhosas e cultivares diversos, mantém funções ecológicas, como ciclagem de nutrientes, manutenção da biodiversidade e apoiam serviços ecossistêmicos. As abelhas podem beneficiar esses ambientes através da polinização das espécies vegetais e devido a heterogeneidade ambiental, esses ambientes oferecem grande diversidade alimentar e de locais de nidificação para as abelhas. Essa pesquisa teve como objetivos verificar a contribuição das abelhas como polinizadores da berinjela e avaliar a qualidade dos frutos, em um ambiente agroflorestal. Oito espécies de abelhas foram registradas visitando a berinjela *Apis mellifera*, *Bombus morio*, *Bombus* sp., *Euglossa* spp., *Exomalopsis exomalopsis*, sp.1 (Halictidae), sp.2 (Halictidae) e *Paratrigona lineata*. Dentre elas *P. lineata* (n= 48), seguida de *Euglossa* sp. (n= 25) foram as mais abundantes. Foram observados os comportamentos de visita de *P. lineata* e de Halictidae, e uma visita dessas espécies foi suficiente para realizar a polinização das flores. Os frutos analisados foram oriundos de tratamentos de autopolinização (A), polinização por abelhas (em uma única visita, M) e livre visitação (C), com taxas de frutificação respectivamente 25,64%, 71,43% e 93,10%. Os tratamentos M e C apresentaram massa, diâmetro longitudinal e equatorial maiores que os do tratamento A. O número de sementes produzidos pelos frutos diferiu entre autopolinização e livre visitação, sendo maior nos frutos oriundos do tratamento de polinização livre. A partir dos resultados foi possível observar a contribuição positiva das abelhas como polinizadores da berinjela em um sistema agroflorestal, que se apresenta como uma alternativa ecológica e mais coerente com a saúde pública para produção de alimentos.

3.2. ABSTRACT

Agroforestry systems are a form of food production that mix woody trees and diverse cultivars. Maintaining ecological functions and supporting ecosystem services. Bees can benefit from these environments through pollination of plant species and due to environmental heterogeneity, these environments can also benefit bees. This research aimed to verify the contribution of bees as eggplant pollinators in an agroforestry environment. Through the verification of the contribution of bees to the formation of fruits, observation of the bee's behavior when visiting the flowers and evaluation of the contribution of pollination to the quality of the formed fruits. Eight species of bees were registered visiting the eggplant *Apis mellifera*, *Bombus morio*, *Bombus* sp., *Euglossa* sp., *Exomalopsis exomalopsis*, *Halictidae* sp.1, *Halictidae* sp.2 e *Paratrigona lineata*. Among them, *P. lineata* ($n = 48$), followed by *Euglossa* sp. ($n = 25$) were the most abundant. Visiting behaviors of *P. lineata* and *Halictidae* were observed, and a single visit of these bees lead to the pollination. The fruits analyzed were from self-pollination (A), pollination by bees (in a single visit, M) and control (C) treatments. The fruiting rates were respectively, 25.64%, 71.43% and 93.10%. The M and C treatments presented mass, longitudinal and equatorial diameter greater than those of the A treatment. The number of seeds produced by the fruits differed between self-pollination and control treatments. From the results it was possible to observe the positive contribution of bees as eggplant pollinators in an agroforestry system, which represents an alternative to organic food production more consistent with public health.

3.3. INTRODUÇÃO

Um ambiente agroflorestal representa uma forma de uso da terra que associa árvores à produção de cultivares, com o objetivo de beneficiar de atividades ecológicas e econômicas (NAIR, 1985). Esses ecossistemas apresentam o potencial de realizar e permitir serviços ecossistêmicos e benefícios ambientais, tais como: sequestro de carbono, conservação da biodiversidade, enriquecimento do solo e beneficiar a qualidade do ar e da água (JOSE, 2009).

Por se tratarem de ambientes com uma grande diversidade vegetal e alguns apresentarem manejo agroecológico, orgânico e sem o uso de agrotóxicos, esses ambientes apresentam um impacto positivo na conservação da biodiversidade (JHA & VANDERMEER, 2010). Além disso, sistemas agroflorestais apresentam também o potencial de gerar fonte de renda a pequenos produtores locais, integrando-os ao ambiente e trazendo uma alternativa que une conservação ambiental e produção de renda (RAYOL & MAIA, 2013).

A berinjela (*Solanum melongena* L.) pertencente à família Solanaceae (RIBEIRO et al., 1998) que é caracterizada por apresentar anteras poricidas (DE LUCA & VALLEJO-MARÍN, 2013). As plantas dessa espécie apresentam porte arbustivo, com cerca de 1m de altura. As flores apresentam 5 a 6 pétalas de cor lilás a violeta, o cálice com 5 a 7 sépalas que costumam apresentar espinhos e as anteras são bastante conspícuas apresentando coloração amarela (RIBEIRO et al., 1998). A flor de berinjela apresenta 3 morfos, a depender da variedade, um deles com o pistilo longo, outro com o pistilo no mesmo nível das anteras e um de pistilo curto (SĘKARA & BIENIASZ, 2008). Além disso, os morfos diferem também em tamanho de anteras e corolas, sendo que o morfo de pistilo curto apresenta função apenas masculina (ZAMBON & AGOSTINI, 2017). Apesar da autocompatibilidade, por apresentar anteras poricidas, é necessária a movimentação das anteras para a liberação dos grãos de pólen. Movimentação geralmente realizada de forma eficiente através do comportamento de polinização por vibração (*buzz-pollination*) realizado por algumas espécies de abelhas (BUCHMANN & HURLEY, 1978; DE LUCA & VALLEJO-MARÍN, 2013).

As abelhas se destacam como os principais polinizadores de cultivares e de plantas nativas, apresentando um papel fundamental na reprodução de grande parte das Angiospermas (RASMUNSEN et al. 2010). A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2004) estima que aproximadamente 73% dos cultivos mundiais são polinizados por alguma espécie de abelha.

No que diz respeito à berinjaleira, diversos estudos apresentaram a contribuição das abelhas para esse cultivar (GEMMILL-HERREN & OCHIENG, 2008; MONTEMOR & SOUZA, 2009; NUNES-SILVA et al., 2013; ZAMBON, 2015; ZAMBON & AGOSTINI, 2017; JAYASINGHE et al., 2017). Gemmill-Herren & Ochieng (2008) demonstraram a contribuição de abelhas nativas no Quênia para a polinização de berinjela, identificando o gênero *Xylocopa* como um polinizador eficiente. Além disso, esses autores verificaram a diminuição da taxa de visitação dos polinizadores com o aumento da distância das áreas naturais, evidenciando a importância da heterogeneidade de plantas que atuam como fontes alternativas para o forrageamento das abelhas e da manutenção de áreas naturais no entorno dos cultivos. *Exomalopsis* e *Bombus* também foram identificadas como importantes para a polinização da berinjaleira em cultivos abertos (MONTEMOR & SOUZA, 2009). Testes conduzidos em estufas, demonstraram a eficiência da abelha sem-ferrão *Melipona fasciculata* como polinizadora da berinjela (NUNES-SILVA et al., 2013). A autopolinização espontânea em *S. melongena* nem sempre é suficiente para a fecundação, o que evidencia a importância dos polinizadores (ZAMBON, 2015). Abelhas que vibram, como *Exomalopsis diminuta*, são mais eficientes na polinização, mas abelhas como *Apis mellifera* também se apresentam como polinizadores (ZAMBON & AGOSTINI, 2017). Jayasinghe et al. (2017), também constataram a contribuição de abelhas que apresentam o comportamento de vibração para a formação de frutos.

Além dos benefícios à cultivos convencionais, abelhas podem oferecer vantagens aos sistemas agroflorestais, que apresentam uma grande diversidade de plantas, ao assegurarem a polinização e aumentarem a diversidade ecológica do ambiente (MONGE, 2001). Em complementariedade, o número de espécies arbóreas em ambientes agroflorestais favorece a riqueza e abundância de abelhas (JHA & VANDERMEER, 2010). Além disso, o manejo nos ambientes agroflorestais, que é totalmente orgânico, reitera a importância desses ambientes como importantes para a conservação das abelhas (JHA & VANDERMEER, 2010). A heterogeneidade de plantas é importante para a manutenção da comunidade de abelhas, pois consiste em fontes alternativas de alimentação desses polinizadores, inexistentes em sistemas de monocultura. Para sua manutenção, as abelhas necessitam de uma diversidade de espécies vegetais para alimentação e para nidificação (HEARD, 1999). Os ambientes agroflorestais apresentam essa diversidade, portanto, são fontes de recursos florais para as abelhas (SOUZA et al., 2015).

Estudos apontam que uma maior diversidade de abelhas em ambientes com polinização em ambiente agroflorestal com plantação de café, por exemplo, facilitaria o sucesso de polinização desse cultivar (KLEIN et al., 2003; BOREUX et al., 2013). O incremento na diversidade desses polinizadores pode ser feito por meio da introdução direta, do aumento da diversidade de espécies vegetais e da disponibilização de locais para nidificação desses insetos (KLEIN et al., 2003). A inserção de abelhas nesses ecossistemas, além de favorecer a polinização dos diferentes cultivares, também pode atuar como uma forma de aumentar a renda dos agricultores por meio da comercialização dos produtos desses insetos, incluindo aqueles advindos das abelhas sem ferrão (MONGE, 2001; WOLFF et al., 2007).

Polinização em ambientes agroflorestais é um assunto de alta relevância, porque esses ambientes apresentam a potencialidade de criar alternativas para a alimentação mundial, substituindo as monoculturas, que causam diversos danos ao meio ambiente. Assim como o uso intensivo de agrotóxicos. Ao demonstrar que abelhas melhoram a produção de alimento nesses ambientes gera-se um argumento a mais para a preservação desses insetos.

Desta forma, visando ampliar o conhecimento ecológico em ambientes agroflorestais e o conhecimento sobre a ação das abelhas como polinizadores, em cultivo de berinjela, essa pesquisa teve como objetivos: a. verificar a contribuição de abelhas para a formação de frutos em ambiente agroflorestal; b. observar o comportamento das abelhas ao visitarem as flores e c. avaliar a contribuição da polinização na qualidade dos frutos formados.

3.4. METODOLOGIA

3.4.1. Área de estudo

O trabalho foi conduzido em um cultivo de berinjela em área agroflorestal (FIGURA 1), localizada no município de Uberlândia/MG ($19^{\circ}03'22.26''S$; $48^{\circ}25'33.22''O$). O clima da região é tropical e considerado como Aw de acordo com a classificação de Köppen, portanto apresenta um verão chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro) (KÖPPEN & GEIGER, 1928; SETZER, 1966; ROSA et. al., 1991).

Cultivos agroflorestais são constituídos por uma diversidade de cultivares intercalados com árvores e culturas perenes, portanto, não são cultivos especializados em uma só espécie vegetal, como são as monoculturas (FIGURA 2). A agrofloresta em que os estudos foram conduzidos apresenta manejo orgânico e se encontrava em fase inicial de desenvolvimento, não

tendo uma presença muito representativa das espécies arbóreas. O sistema era composto por berinjela, jiló, milho, abobrinha, mandioca, abóbora, brócolis, mamão, eucalipto, banana, vinagreira, lavanda, quiabo, tomate rústico, algumas espécies de PANCs e se localizava próximo a uma horta orgânica. O cultivo de berinjela em que os experimentos foram conduzidos era composto de 19 indivíduos dispostos em 2 fileiras e intercalados com plantas de jiló (*Solanum aethiopicum*), que também apresentavam floração.



FIGURA 1. Visão em satélite da área da agrofloresta. Em azul a localização do cultivo de berinjela, em amarelo o contorno da área da agrofloresta.



FIGURA 2. Foto da área de plantação de berinjela na agrofloresta. As pesquisadoras se encontram entre as duas fileiras do cultivo. Nas laterais estão plantações de milho, mandioca e brócolis.

3.4.2. Amostragem dos visitantes florais

As abelhas visitantes florais foram amostradas por meio de 2 campanhas de observação. Uma delas realizada das 7h às 13h no dia 10 de maio de 2017 e outra realizada das 7h às 15h no dia 01 de junho de 2017. Para tanto, as linhas do cultivo foram percorridas em sua totalidade por dois observadores a cada 30 minutos por hora. A cada hora, os 30 minutos restantes eram reservados para fotografias, filmagens e observação do comportamento das abelhas. Foram registradas todas as abelhas observadas ao visitarem as flores e algumas delas foram coletadas para identificação. As coletas foram realizadas de forma ativa, utilizando rede entomológica, os indivíduos sacrificados em câmera mortífera contendo acetato e, posteriormente, acondicionadas em potes identificados com o horário de coleta. Os exemplares coletados foram alfinetados e incorporados à Coleção Entomológica do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas (LECA) da Universidade Federal de Uberlândia.

3.4.3. Testes de polinização

Para verificar a formação e qualidade dos frutos e relacioná-los com a ação das abelhas visitantes florais, foram realizados testes de polinização. Para tanto, botões florais hermafroditas foram selecionados aleatoriamente, quando a parte abaxial estava rosada e marcados em fase de pré-antese, em 3 tratamentos:

- Livre visitação (C; N = 29): botões florais marcados, deixados abertos para livre visitação durante todo o período de desenvolvimento da flor.
- Autopolinização (A; N = 29): botões marcados e ensacados na fase de pré-antese e deixados assim até o início do desenvolvimento dos frutos.
- Polinização restrita por abelha (M; N = 14): nesse tratamento, os botões foram marcados e ensacados na fase de pré-antese. Após a maturação da flor (cerca de 2 dias após antese) os sacos foram retirados e foi permitida a visita por uma única abelha, em seguida foram ensacados novamente. Durante esse tratamento o comportamento das abelhas visitantes era observado e registrado.

Foram realizados acompanhamentos semanais do desenvolvimento dos frutos. Os sacos utilizados no experimento foram confeccionados em filó, um tecido mais leve que a organza, visto que a irrigação no cultivo era realizada por um sistema de microaspersão, o que conferia grande pressão de água sobre as plantas, o que inicialmente acarretou na derrubada de alguns botões ensacados com sacos de organza.

3.4.2. Formação de Frutos

Cada uma das 19 plantas que compreendiam o cultivo foi marcada e numerada. Foi realizado um acompanhamento semanal do desenvolvimento das flores, dos tratamentos citados no item 2.4.1., em cada indivíduo. Nesse acompanhamento foram registradas a formação de frutos, queda de flores, queda de frutos e apodrecimento (TABELA 3). A porcentagem de frutificação foi calculada por:

$$\frac{nº\ frutos\ formados}{nº\ flores\ marcadas} \times 100$$

3.4.4. Análise dos frutos

Os frutos formados em cada tratamento foram coletados e levados ao Laboratório de Ecologia e Comportamento de Abelhas (LECA) para análises. Foram estimados os seguintes parâmetros:

- Massa: utilizando balança digital.
- Diâmetro longitudinal: utilizando paquímetro digital.
- Diâmetro equatorial: medido na porção mais proeminente do fruto, com o uso de paquímetro digital.
- Número de sementes: para a contagem do número de sementes os frutos foram cortados. O primeiro corte foi realizado longitudinalmente, indo de uma extremidade a outra do fruto, sendo que, todas as sementes observadas nessa porção foram contadas. Posteriormente, o fruto foi cortado equatorialmente, seguindo a linha imaginária traçada para a medida do diâmetro equatorial. Todas as sementes observadas na porção equatorial foram contadas e registradas. O número de sementes total para cada fruto analisado, foi a somatória das sementes contadas nesses dois cortes (FIGURA 3).



FIGURA 3. Análises dos frutos de berinjela. A. Diâmetro longitudinal onde foi realizado o corte para a contagem do número de sementes (letra D). B. Diâmetro equatorial e segundo corte, onde foi realizada a contagem do número de sementes. C. Segundo corte sendo realizado. D. Corte longitudinal de um fruto contendo uma larva não identificada.

3.4.5. Testes estatísticos

Para verificar se frutos oriundos de diferentes tratamentos eram estatisticamente diferentes foram realizadas Análises de Variância (ANOVA) para os seguintes parâmetros: massa, diâmetro longitudinal e equatorial, seguido da comparação par-a-par de Tukey. Já para o número de sementes, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, visto que o parâmetro não atendeu à premissa de homogeneidade de dados (ZAR, 2010). O nível de significância utilizado foi $p < 0,05$.

3.5. RESULTADOS

3.5.1. Amostragem de visitantes florais

Foram registradas 91 abelhas, pertencentes a 8 espécies, visitando as flores de berinjela num total de 14 horas de observação. A espécie com o maior número de registros foi *Paratrigona lineata* ($n=48$), seguida de uma ou mais espécies do gênero *Euglossa* ($n=25$) (TABELA 1).

TABELA 3. Número de espécies de abelhas observadas e/ou coletadas visitando flores de berinjela.

Espécie	Número de Registros	%
<i>Apis mellifera</i> (L. 1758)	2	2,2
<i>Bombus morio</i> (Swederus, 1787)	3	3,3
<i>Bombus</i> sp. (Latreille, 1802)	1	1
<i>Euglossa</i> spp. (Latreille, 1802)	25	27,6
<i>Exomalopsis exomalopsis</i> (Spinola, 1853)	3	3,3
sp.1 (Halictidae)	4	4,4
sp.2 (Halictidae)	5	5,5
<i>Paratrigona lineata</i> (Lepeletier, 1836)	48	52,7
TOTAL	91	100

3.5.2. Tratamentos de polinização

3.5.2.1. Comportamento dos visitantes florais

Foram observadas 19 flores (TABELA 2), das quais 5 eram masculinas e não culminaram na formação de frutos. Dentre os frutos colhidos, foram analisados 8 para os parâmetros de massa, diâmetro longitudinal e equatorial e 6 para a contagem do número de sementes.

TABELA 4. Abelhas visitantes florais da berinjela, evidenciando o tempo de visita, o comportamento de coleta, o tipo de flor e o destino das flores. Buzz se refere ao comportamento de polinização por vibração (buzz-pollination).

Espécie de abelha	Tempo da visita (s)	Comportamento	Tipo de flor	Destino das flores
<i>Euglossa</i> sp.	50	Buzz	hermafrodita	flor caiu
sp.1 (Halictidae)	45	Buzz	masculina	flor caiu
sp.1 (Halictidae)	149	Buzz	hermafrodita	colhido
sp.1 (Halictidae)	152	Buzz	hermafrodita	colhido**
sp.1 (Halictidae)	100	Buzz	hermafrodita	colhido**
sp.1 (Halictidae)1	135	Buzz	hermafrodita	apodreceu
sp.1 (Halictidae)	29	Buzz	masculina	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	162	Milking	masculina	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	169	Milking	masculina	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	28	Milking	brevestilo	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	323	Milking	hermafrodita	colhido*
<i>Paratrígona lineata</i>	123	Milking	hermafrodita	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	80	Milking	hermafrodita	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	354	Milking	hermafrodita	colhido**
<i>Paratrígona lineata</i>	-	Milking	hermafrodita	colhido*
<i>Paratrígona lineata</i>	170	Milking	hermafrodita	colhido**
<i>Paratrígona lineata</i>	465	Milking	hermafrodita	flor caiu
<i>Paratrígona lineata</i>	240	Milking	hermafrodita	colhido**
<i>Paratrígona lineata</i>	465	Milking	hermafrodita	colhido**

*Frutos em que foram analisados os parâmetros: massa, diâmetro longitudinal e equatorial;

** Frutos em que foram analisados os parâmetros: massa, diâmetro equatorial, longitudinal, e número de sementes.

Paratrigona lineata realizou o comportamento de coleta denominado *milking*, que resultava na retirada de grãos de pólen do ápice das anteras com o uso da glossa. No momento em que a abelha retirava a glossa da antera era possível visualizar a olho nu grãos de pólen caindo. Em alguns casos, elas se fixavam no estigma com as mandíbulas para realizar o comportamento de *grooming*. Além disso, usualmente apresentavam o hábito de caminhar sobre o estigma.

As espécies da família Halictidae apresentaram o comportamento de polinização por vibração (*buzz-pollination*), liberando grandes quantidades de grãos de pólen, no momento em que vibram as anteras, em rápidas visitas às flores. Durante esse processo vibraram uma ou mais anteras ao mesmo tempo e normalmente realizaram o *grooming* sobre o estigma ou fixadas sobre ele com as mandíbulas (FIGURA 4).



FIGURA 4. A - Halictidae realizando *grooming* sobre estigma de uma flor de berinjela. B. Halictidae realizando *grooming* fixada com a mandíbula no ápice das anteras. C – *Paratrigona lineata* realizando milking no ápice das anteras. D - *P. lineata* com a corbícula repleta de pólen, realizando *grooming* fixada com as mandíbulas no estigma da flor.

3.5.2.2. Taxa de frutificação

Foram marcados um total de 82 botões hermafroditas (TABELA 3). Desses, 9 frutos apodreceram, 26 foram colhidos, 30 flores e 7 frutos caíram ou foram abortados pelas plantas, 1 fruto não se formou e 4 deles não foi possível acompanhar o desenvolvimento. Com base nesses dados a porcentagem de frutificação foi de 25,64% para o tratamento de autopolinização (A), 93,10% para o tratamento de livre visitação (C) e 71,43% para o tratamento de polinização restrita realizada por abelhas (M).

TABELA 5. Desenvolvimento dos frutos marcados.

	Marcados	Apodreceu	Colhido	Flor caiu	Fruto caiu	Não frutificou	X
Autopolinização	39	2	4	24	4	1	4
Livre visitação	29	6	18	2	3	0	0
Polinização restrita	14	1	9	4	0	0	0

X: não foi possível acompanhar o desenvolvimento dos frutos.

3.5.3. Análise de frutos

Foram analisados 29 frutos para os parâmetros de massa, diâmetro longitudinal e equatorial, e 26 frutos para o número de sementes. Dos 29, quatro foram oriundos do tratamento de autopolinização (A), 17 de livre visitação(C) e oito da polinização restrita (M). Dos 26, três vieram do tratamento de autopolinização (A), 17 de livre visitação (C) e 6 da polinização restrita (M).

Todos os parâmetros analisados diferiram significativamente entre o tratamento de autopolinização (A) e os demais (livre visitação - C e polinização restrita - M). A massa ($F = 15,606$; g.l. = 2; $p = 0,0001$; N = 29; FIGURA 1-A) foi diferente entre A e C ($p = 0,0001$) e A e M ($p = 0,0001$), mas não apresentou diferença significativa entre C e M ($p = 0,583$). O diâmetro longitudinal também diferiu significativamente entre tratamentos ($F = 13,659$; g.l. = 2; $p = 0,0001$; FIGURA 1-B). Sendo que o tratamento de A diferiu de C ($p = 0,0001$) e de M ($p = 0,0001$) e os tratamentos C e M não diferiram entre si ($p = 0,997$). O diâmetro equatorial diferiu significativamente entre tratamentos ($F = 25,605$; g.l. = 2; $p = 0,0001$; FIGURA 1-C), sendo que a comparação par-a-par entre A e C ($p = 0,0001$) e A e M ($p = 0,0001$) apresentou diferenças significativas, e a comparação entre C e M não apresentou diferença estatística ($p = 0,834$). Dos parâmetros analisados as variâncias dos tratamentos de livre visitação e polinização por abelhas restrita foram maiores do que as do tratamento de autopolinização. O número de sementes diferiu significativamente entre tratamentos ($H = 10,163$; g.l. = 2; $p = 0,006$; FIGURA 1-D), mas a comparação par-a-par apresentou um padrão diferente dos demais parâmetros. Os tratamentos A e C foram diferentes estatisticamente ($Q = 2,71$) e a comparação entre A e M ($Q = 0,94$) e C e M ($Q = 2,17$) não diferiram. Sendo maior no tratamento de livre visitação.

TABELA 6. Valores médios (\pm desvio padrão) dos parâmetros analisados relacionados à qualidade dos frutos, nos tratamentos: autopolinização (A), livre visitação (C) e polinização restrita (M). A: massa; B: diâmetro longitudinal; C: diâmetro equatorial; D: número de sementes. Valores seguidos por letras distintas são estatisticamente diferentes com uma significância de $p < 0,05$.

Parâmetro	Tratamento		
	A	M	C
Massa	85,25 (\pm 59,96)a	309,75 (\pm 54,12)b	280,15 (\pm 76,10)b
Diâmetro longitudinal	104,43 (\pm 34)a	183,79 (\pm 35,44)b	182,97 (\pm 22,53)b
Diâmetro equatorial	47,81 (\pm 8,16)a	75,67 (\pm 4,66)b	73,95 (\pm 7,51)b
Número de sementes	72 (\pm 33,87)a	218,33 (\pm 160,61)ab	395,76 (\pm 150,12)b

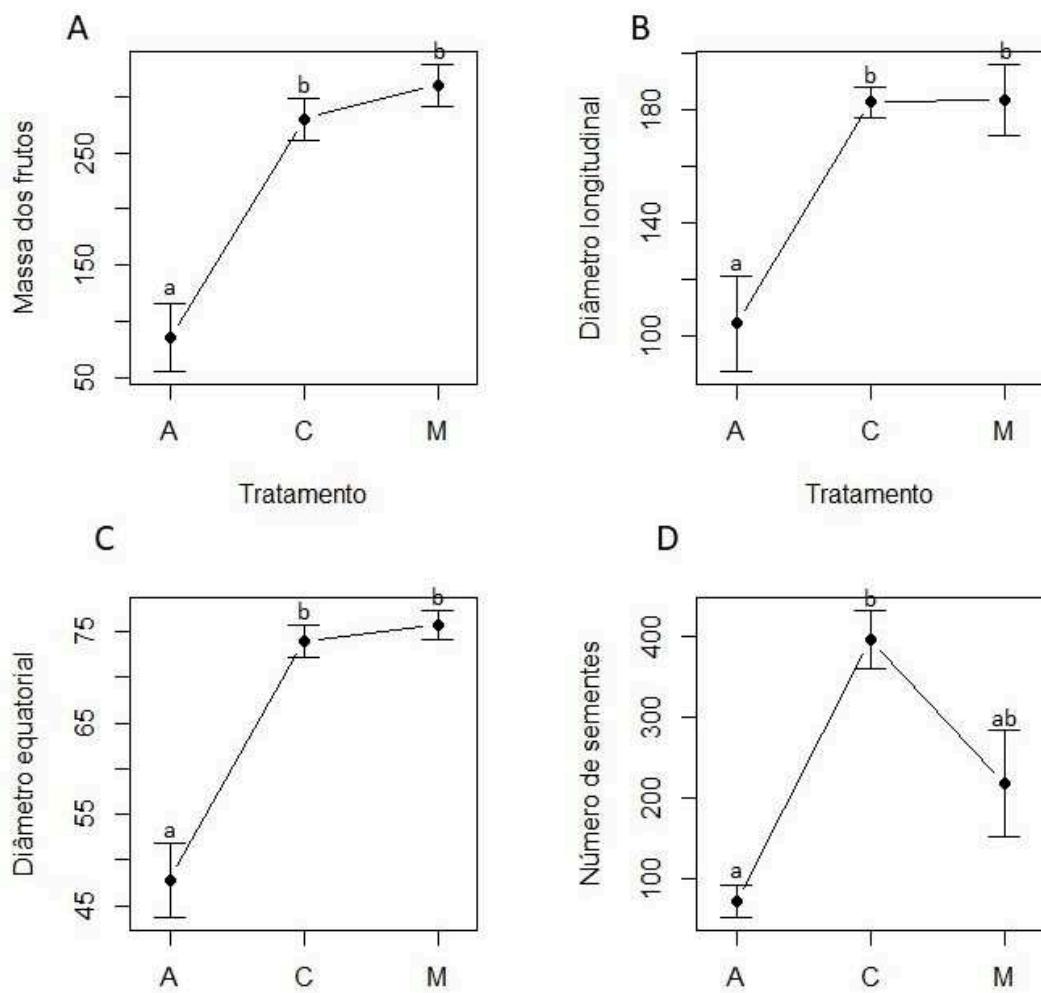


FIGURA 9. Parâmetros analisados nos frutos de berinjela nos tratamentos: autopolinização (A), livre visitação (C) e polinização restrita (M). A: massa; B: diâmetro longitudinal; C: diâmetro equatorial; D: número de sementes.

3.6. DISCUSSÃO

Algumas das práticas agrícolas atuais diminuem a capacidade dos ecossistemas em realizarem serviços ambientais, além de devastarem ambientes naturais (TILMAN et al., 2002). Os mesmos autores, afirmam que novos incentivos e políticas são necessários para buscar uma agricultura sustentável que supra a demanda da produção de alimentos e não comprometa a integridade ambiental e a saúde pública. Alguns ambientes agroflorestais apresentam o potencial de sanar essas demandas (JOSE, 2009), já que não utilizam agrotóxicos e exploram o meio ambiente de forma sustentável.

A diversidade de polinizadores é favorável para culturas agrícolas, visto que boa parte desses cultivos se beneficiam com mais de uma espécie de polinizador. Ao mesmo tempo, a heterogeneidade espacial em áreas agrícolas é extremamente importante, pois oferece mais opções de alimentos aos potenciais polinizadores, como também abrigo e locais para nidificação (FREITAS & SILVA, 2013). Essa diversidade é bem representada em sistemas agroflorestais (NAIR, 1985; JHA & VANDERMEER, 2010). A produtividade do sistema agrícola aumenta com a riqueza das comunidades animal e vegetal, pois quanto maior esse número, maior será a diversidade de polinizadores realizando diversos comportamentos de exploração de recursos (ZAMBON & AGOSTINI, 2017), aumentando as chances de polinização diante da variação da morfologia floral existente em diferentes espécies vegetais.

O número de espécies de abelhas registradas (8 espécies, TABELA 1) visitantes das flores de berinjela é coerente com a diversidade comumente encontrada para esse cultivo. Montemor & Souza (2009) registraram 5 espécies (*Exomalopsis* sp., *Pseudaugochloropsis graminea*, *Bombus atratus*, *Oxaea flavescens* e *Trigona spinipes*), Gemmill-Herren & Ochieng (2008) encontraram 9 espécies (*Amegilla calens*, *A. nubica*, *A. mellifera*, *Crocisaspida* sp., *M. rufipes*, *Pseudapis* sp., *X. caffra*, *X. albiceps* e *X. flavorufa/inconstans*) e Zambon & Agostini (2017) encontraram 8 espécies de abelhas (*Oxaea flavescens*, *Apis mellifera*, *Bombus morio*, *Exomalopsis diminuta*, *Trigona spinipes*, *Xylocopa frontalis*, *Pseudaugochloropsis graminea*). A riqueza de espécies encontrada nesse trabalho (n=8) se refere apenas às abelhas registadas visitando o cultivo de berinjela, sendo que devemos considerar que a comunidade de abelhas que ocorrem na agrofloresta é maior, mas não foi amostrada de acordo com os objetivos desta pesquisa. Além disso, a área onde o estudo foi realizado se tratava de uma agrofloresta em início de desenvolvimento, onde muitas espécies não estavam floridas, limitando a oferta de recursos

alimentares e, consequentemente, a atratividade aos visitantes florais. Dessa forma, é possível que com o estabelecimento da agrofloresta a riqueza de espécies que visitam a berinjela aumente.

Ambientes agroflorestais apresentam grande relevância para a conservação de espécies, principalmente de polinizadores. É sabido que abelhas da tribo Euglossini tiveram diminuição populacional com os eventos de fragmentação dos ecossistemas, entretanto, apresentam populações em recuperação no entorno de agroflorestas (SCHROTH et al., 2004, p. 42). Esse fato pode explicar a alta taxa de *Euglossa* spp. (27,6%) encontrada no estudo aqui apresentado. Algumas espécies dessas abelhas são comuns em ambientes florestais, sendo raramente amostradas em cultivos agrícolas. Além disso, as que ocorrem em ambiente agrícolas necessitam de boas condições ambientais e uma área de entorno preservada, para a sua manutenção. Um sistema agroflorestal mescla espécies vegetais diferentes, aumentando a diversidade, também preservando a vegetação natural no entorno e valorizando a vegetação natural. Estas características deste sistema de cultivo possibilitam a ocorrência de muitos indivíduos de *Euglossa* spp. visitando as espécies cultivadas.

No início do experimento houve uma grande queda no número de flores, causada pelo peso dos sacos de organza ao serem encharcados de água devido ao sistema de irrigação utilizado. Esse problema foi resolvido pela troca dos sacos de organza por sacos de filó, que são mais leves e não absorvem água. Nem todos os frutos coletados puderam ser analisados porque alguns deles foram acometidos por pragas, como ácaros e larvas de insetos, que são comuns em cultivos de berinjela (RIBEIRO et al., 1998).

O tratamento de autopolinização, apesar da autocompatibilidade existente na berinjeira, apresentou uma baixa taxa de formação de frutos (25,64%) em comparação aos demais (93,10% para a livre visitação e 71,43% para a polinização restrita), demonstrando a importância das abelhas para a frutificação nesse cultivo, corroborando com os resultados obtidos em outros estudos (GEMMILL-HERREN & OCHIENG, 2008; NUNES-SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2016). Os frutos oriundos dos tratamentos que receberam uma visita de abelha foram também mais pesados e maiores, mas um fator que evidenciou a contribuição das abelhas como polinizadoras. A partir desses resultados é possível concluir que uma única visita por abelha, é suficiente para a formação de frutos. A maioria das visitas no tratamento de melitofilia foi realizada por *P. lineata*, uma espécie que não apresenta o comportamento de polinização por vibração. Dos 9 frutos formados nesse tratamento, 6 foram resultantes da visita

do comportamento de *milking*. Além disso, essa abelha apresenta o potencial de realizar polinização cruzada, pois muitas vezes se dirige para outras flores antes de realizar *grooming*. Para Zambon & Agostini (2017), o comportamento do polinizador ao depositar pólen no estigma em cultivos de berinjela é mais eficiente do que a deposição realizada pelo vento ou pela autopolinização, que não colaboram para o aumento do potencial reprodutivo a planta.

Foi comprovado que a visita de uma única abelha a flor é suficiente para que a frutificação ocorra, mas visitas múltiplas podem levar a formação de frutos mais pesados e com mais sementes. Demonstrando a importância da manutenção da diversidade de polinizadores na área. O mesmo raciocínio pode ser traçado em relação à massa dos frutos, já que não houve diferença significativa entre os grupos controle e visita por abelha. Desta forma, sugerimos que para que o número de visitantes florais seja aumentado, que se realize a introdução de ninhos de abelhas na área, colaborando com o incremento de polinizadores, o que corrobora com a sugestão de Zambon & Agostini (2017).

Insetos polinizadores tem o potencial de aumentar significativamente o número de sementes produzidas pelas plantas (GEMMILL-HERREN & OCHIENG, 2008). *Melipona fasciculata* foi um polinizador eficiente em apenas uma visita (NUNES-SILVA et al., 2013), mas isso pode não ser realidade para todos os tipos de abelhas, devido aos diversos comportamentos apresentados e ao tamanho corpóreo das diferentes espécies. Testes relacionados à influência do comportamento de coleta na formação de sementes não foram conduzidos nesse estudo, pois o número amostral de visitas assistidas com o comportamento de *buzz-pollination* foi reduzido. Apesar da maior parte das visitas terem sido realizadas por *P. lineata*, o número de sementes no tratamento de polinização restrita (M) foi intermediário ao dos tratamentos de autopolinização (A) e livre visita (C). O que indica que uma única visita pode não ser suficiente para uma fecundação eficiente. Ainda assim o tratamento M apresentou uma porcentagem de formação de frutos muito maior que o tratamento de autopolinização, tornando evidente a contribuição de uma única visita dessa espécie para a polinização. É possível que o tratamento M não tenha diferido significantemente do tratamento A, em número de sementes, pelo baixo número amostral obtido, entretanto, a importância das abelhas na formação de frutos deve ser ressaltada, pois para o grupo C as abelhas contribuíram representativamente na formação de sementes e no processo de polinização. O tempo de visita das abelhas às flores pode ter também ter interferido na formação dos frutos e no número de sementes, assim como sugerido por Zambon & Agostini (2017).

3.7. CONCLUSÕES

A partir desse estudo concluímos que abelhas são importantes para a polinização da berinjela em ambientes agroflorestais. Como consequência de suas visitas às flores ocorre aumento da massa, diâmetro longitudinal e equatorial dos frutos, fatores importantes no momento da comercialização. Além disso, as abelhas prestam um serviço ecossistêmico importante para esses ambientes que oferecem potencial para a conservação desses insetos, pelo manejo livre de agrotóxicos e pela diversidade de espécies vegetais que favorecem a alimentação dos polinizadores. Os cultivos agroflorestais também se apresentam como uma importante e viável técnica de cultivo para a produção de alimentos de forma ecológica, preservando o meio ambiente e favorecendo a saúde pública.

3.8. AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi possível graças à colaboração de diferentes pessoas. Gostaria de agradecer ao Bruno Ferreira Bartelli pelo auxílio em campo e pela ajuda com a parte estatística. À Nicole Cristina Machado Borges e Thainã Resende Monteiro pela grande colaboração na coleta de dados. Aos produtores Joana e Paulo por nos receberam tão bem em sua agrofloresta e oferecerem todo tipo de apoio para a realização dos experimentos. Ao Alexandre Oliveira Resende dos Santos pelo auxílio na identificação das abelhas. Agradeço também a CAPES pela bolsa de mestrado e ao CNPQ pelo auxílio financeiro.

3.9. REFERÊNCIAS

BARRET, S.C. H.; JESSON, L. K.; BAKER, A. M. The Evolution and Function of Stylar Polymorphisms in Flowering Plants. *Annals of Botany*, v. 85 (Supplement A), p. 253-265, 2000. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1067>

BOREUX, V.; KUSHALAPPA, C. G.; VAAST, P.; GHAZOUL, J. Interactive effects among ecosystem services and management practices on crop production: pollination in coffee agroforestry systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 110, n. 21, p. 8387-8392, 2013. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210590110>

BUCHMANN, S. L; HURLEY, J. P. A Biophysical Model for Buzz Pollination in Angiosperms. *Journal of Theoretical Biology*, v. 72, p. 639-657, 1978. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(78\)90277-1](https://doi.org/10.1016/0022-5193(78)90277-1)

DE LUCA, P. A. & VALLEJO-MARÍN, M. What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 16, p. 429–435, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.05.002>

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture. The international response. In: Freitas B.M. e J.O.P. Pereira (Eds.) *Solitary Bees: Conservation, Rearing and Management for Pollination*. Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil. p. 19-25, 2004.

FREITAS, B. M.; SILVA, C. I. O papel dos polinizadores na produção agrícola no Brasil. In: ABELHAS, Associação Brasileira de Estudos. *Agricultura e Polinizadores*, 2013.

GEMMILL-HERREN, B.; OCHIENG, A. O. Role of native bees and natural habitats in eggplant (*Solanum melongena*) pollination in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 127, p. 31–36, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.002>

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. *Annual review of entomology*, v. 44, n. 1, p. 183-206, 1999. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.183>

JAYASINGHE, U. J. M. S. R.; SAUMYA, T. H. E. S.; KARUNARATNE, W. A. I. P., Buzzing Wild Bee Visits Enhance Seed Set in Eggplant, *Solanum melongena*. *Psyche*, v. 2017, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4624062>

JHA, S.; VANDERMEER, J. H. Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation*, v. 143, n. 6, p. 1423-1431, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.017>

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, v.76, p. 1–10, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>

KLEIN, A.- M.; STEFFAN- DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology*, v. 40, n. 5, p. 837-845, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00847.x>

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

MONGE, I. A. ¿Cómo Manejar abejas nativas sin aguijón (Apidae: Meliponinae) en Sistemas Agroflorestales? *Agroforestería en las Americas*, v. 8, n. 31, p.50-55, 2001.

MONTEMOR, K.A.; SOUZA, T. M. Biodiversidade de polinizadores e biologia floral em cultura de berinjela (*Solanum melongena*). *Zootecnia Tropical*. v. 27, n. 1, p. 97–103, 2009.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v. 3, p. 97-128, 1985. <https://doi.org/10.1007/BF00122638>

NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; DA SILVA, C. I.; ROLDÃO, Y. S.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Stingless bees, *Melipona fasciculata*, as efficient pollinators of eggplant (*Solanum melongena*) in greenhouses. *Apidologie*, v. 44, n. 5, p. 537–546, 2013. <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0204-y>

RAYOL, B. P. & MAIRA, R. T. F. Potencial da inserção de abelhas em sistemas agroflorestais no oeste do estado do Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 8, n. 3, p. 101-108, 2013.

- RIBEIRO, C. S. da C.; BRUNE, S.; REIFSCHNEIDER, F. J.B. Cultivo da Berinjela (*Solanum melongena L.*). In: *Instruções técnicas da Embrapa Hortaliças*. Embrapa, Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1998.
- ROSA, R.; LIMA, S. C. C.; ASSUNÇÃO, W.L. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). *S & N*, v. 3, p. 91-108, 1991.
- SCHROTH, G.; FONSECA, G. A. B.; HARVEY, C. A.; VASCONCELOS, H. L.; GOSCON, C.; IZAR, A-M. N. *Agroforestry and biodiversity conservation in Tropical Landscapes*. Island Press, Washington, 2004.
- SEKARA, A.; BIENIASZ, M. Pollination, fertilization and fruit formation in eggplant (*Solanum melongena L.*). *Acta Agrobotanica*, v. 61, n. 1, p. 107–113, 2008.
<https://doi.org/10.5586/aa.2008.014>
- SETZER, J. Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966.
- SILVA, M. A.; OLIVEIRA, F. A.; HRNCIR, M. Efeito de diferentes tratamentos de polinização em berinjela em casa de vegetação. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n.1, p. 30-36, 2016.
<https://doi.org/10.18378/rvads.v11i1.3771>
- SOUZA, V.; DA SILVA, A. P.; MALAGODI-BRAGA, K. S.; DE CAMARGO, R. C. R.; CANUTO, J. C.; DE QUEIROGA, J. L.; MORICONI, W. Agroforestry systems: source of floral resources for wild bees (Hymenoptera: Apoidea). In: *Embrapa Meio Ambiente-Resumo em anais de congresso* (ALICE). In: ENCONTRO SOBRE ABELHAS, 11., 2015, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: USP, 2015.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, v. 428, 2002.
<https://doi.org/10.1038/nature01014>
- WOLFF, L.; CARDOSO, J.; SCHWENGBER, J.; SCHIEDECK, G. Sistema agroflorestal apícola envolvendo abelhas melíferas, abelhas indígenas sem ferrão, aroeira-vermelha e videiras, em produção integrada no interior de Pelotas-RS: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.2 n.2, p.1236-1239, 2007.
- ZAMBON, V. *Biolgia da polinização e eficácia de polinizadores em Solanum melongena L. (Solanaceae)*. Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, 2015.
- ZAMBON, V.; AGOSTINI, K. Polimorfismo floral e suas implicações em sistemas sexuais: o caso de *Solanum melongena* (Solanaceae). *Rodriguésia*, v. 68, n. 4, p. 1187-1199, 2017.
<https://doi.org/10.1590/2175-7860201768403>
- ZAR, J. R. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall/Pearson, Nova Jersey, 5ed., 2010.

4. CONCLUSÕES GERAIS

A partir das pesquisas realizadas concluo que as abelhas são polinizadores eficientes e importantes para a polinização do tomate e da berinjela, colaborando inclusive na melhora da qualidade dos frutos produzidos. O incremento de polinizadores é uma excelente forma de aumentar a abundância de abelhas nas áreas de cultivo e facilitar a polinização, mas deve ser pensado junto a um manejo com menos agrotóxicos e preservação das áreas de entorno, que apresentam o potencial de oferecer outras fontes de alimento e de nidificação para as abelhas. Esse sistema agroflorestal não utiliza nenhum tipo de agrotóxico, tem uma diversidade grande de espécies coexistindo e costumam preservar as áreas de vegetação no entorno, favorecendo a presença e manutenção de abelhas. É importante a realização de pesquisas sobre polinização nesses locais para exaltar as relações entre cultivo e polinizadores em ambientes cuja preservação e manejo de abelhas são propensos. Seria interessante realizar projetos de incremento de polinizadores nesses locais e observar o desenvolvimento das colônias. *Melipona quadrifasciata* se mostrou polinizadora do tomateiro em cultivos abertos, reiterando a importância da manutenção das abelhas nativas e a necessidade de estudos que demonstrem a contribuição das mesmas para a polinização de cultivos.

Bárbara Matos da Cunha Guimarães

**POLINIZAÇÃO POR ABELHAS EM CULTIVO CONVENCIONAL E
AGROFLORESTAL**

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

Aprovada em 28 de fevereiro de 2018.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Edivani Villaron Franceschinelli - UFG

Prof.^a Dr.^a Laíce Souza Rabelo – UFU

Prof.^a Dr.^a Fernanda Helena Nogueira-Ferreira - UFU
(Orientadora)