



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA
TROPICAL

DIEGO DE ALBUQUERQUE COELHO

EFEITO DE INSETICIDAS NA SOBREVIVÊNCIA E CAPACIDADE DE
VOO DA ABELHA AFRICANIZADA *Apis mellifera* (HYMENOPTERA:
APIDAE)

POMBAL – PB

2021

DIEGO DE ALBUQUERQUE COELHO

**EFEITO DE INSETICIDAS NA SOBREVIVÊNCIA E
CAPACIDADE DE VOO DA ABELHA AFRICANIZADA *Apis
mellifera* (HYMENOPTERA: APIDAE)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical para a obtenção de Mestre em Horticultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Ewerton Marinho da Costa

POMBAL – PB

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCCG

- C672c Coêlho, Diego Albuquerque.
Efeito de Inseticidas na sobrevivência e capacidade de voo da abelha africana *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) / Diego Albuquerque Coêlho. - Pombal, 2021.
51 f. : il. Color
- Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.
"Orientação: Prof. Dr. Ewerton Marinho da Costa".
Referências.
1. Abelha-Europeia. 2. Toxicidade. 3. Pesticida. 4. Mortalidade da Abelha. 5. Polonizador. 6. Controle Químico na Agricultura. I. Costa, Ewerton Marinho da. II. Título.

CDU 638.19(043)

DIEGO DE ALBUQUERQUE COELHO

**EFEITO DE INSETICIDAS NA SOBREVIVÊNCIA E
CAPACIDADE DE VOO DA ABELHA AFRICANIZADA *Apis
mellifera* (HYMENOPTERA: APIDAE)**

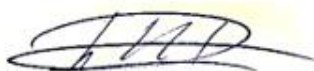
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical para a obtenção de Mestre em Horticultura Tropical.

Aprovada em: 30/07/2021

BANCA EXAMINADORA:



Orientador: Prof. Dr. Ewerton Marinho da Costa
UAGRA/CCTA/UFCG



Examinador Externo: Prof. Dr. Elton Lucio de Araujo
DCAF/UFERSA



Examinador Interno: Prof. Dr. Roberto Cleiton Fernandes de Queiroga
UAGRA/CCTA/UFCG

DEDICATORIA

*A Deus, meu pai Ricardo (in memoriam), minha mãe Jaíra,
minha noiva Larissa, meus irmãos Gabriel, Raquel e Isabela...*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que foi o meu maior sustento, meu maior amparo, que sempre me capacitou e me impulsionou para buscar os caminhos que Ele havia reservado para mim.

A Nossa Senhora das Graças que sem dúvida alguma foi meu amparo e proteção durante toda minha vida.

A minha mãe Jaíra que sempre foi o meu maior exemplo de vida. Por nunca ter medido esforços para me garantir o melhor de tudo. Sem seu apoio eu não conseguiria se quer sonhar com a realização dessa conquista.

Ao meu pai Ricardo que não está mais aqui comigo, mas tenho certeza que de onde ele estiver estará feliz, pois essa conquista é dele também.

A minha noiva Larissa, por todo incentivo e apoio, por não ter permitido que eu nunca desistisse ou desanimasse, por compreender tudo que quero conquistar e por sempre ter me apoiado nesta caminhada. A você que foi o meu maior sustento nessa fase da minha vida.

A meus irmãos Gabriel, Raquel e Isabela, que direta ou indiretamente me deram apoio, que me fizeram ver o quão importante é a família e que sem vocês eu não estaria onde estou.

A minha grande amiga Ana Paula, que foi de grande sustento e força nesse período. Sempre me segurando pela mão e me incentivando até o fim. Levarei para sempre no meu coração.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ewerton Marinho, por todos os ensinamentos e conselhos, por ter acreditado e investido em mim e por sempre buscar meios para que essa etapa da minha vida fosse o mais leve possível.

A todos os integrantes do grupo de pesquisa GEENTO, em especial a Patrícia Matos, Carlos Henrique e Leandro Clemente, por todo apoio e dedicação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical – UFCG e todos os seus professores e colaboradores.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado.

Enfim, a todos e todas que contribuíram para que essa minha meta fosse alcançada.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Inseticidas e respectivas doses avaliadas com relação ao efeito letal sobre abelhas africanizadas <i>Apis mellifera</i> , expostas a pulverização direta, ingestão de dieta contaminada e contato com superfície contaminada, Pombal – PB, 2021	22
TABELA 2 Mortalidade (%) de abelhas africanizadas <i>Apis mellifera</i> expostas a pulverização direta, ingestão de dieta contaminada e contato com superfície contaminada, Pombal – PB, 2021	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Sobrevivência (%) de <i>Apis mellifera</i> após pulverização direta com diferentes inseticidas, Pombal – PB, 2021	27
FIGURA 2 Sobrevivência (%) de <i>Apis mellifera</i> após fornecimento de dieta contaminada com diferentes inseticidas, Pombal – PB, 2021	28
FIGURA 3 Sobrevivência (%) de <i>Apis mellifera</i> após exposição aos resíduos de diferentes inseticidas, Pombal – PB, 2021	30
FIGURA 4 Atividade de voo (cm) de <i>Apis mellifera</i> após exposição por pulverização direta aos inseticidas, 2021	31
FIGURA 5 Atividade de voo (cm) de <i>Apis mellifera</i> após exposição por dieta contaminada com os inseticidas	32
FIGURA 6 Atividade de voo (%) de <i>Apis mellifera</i> após exposição aos resíduos dos inseticidas, Pombal-PB, 2021	33

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Importância da abelha <i>Apis mellifera</i> sob perspectiva ecológica, econômica e agrícola	15
2.2 Controle químico na agricultura	16
2.3 Toxicidade de inseticidas sobre <i>Apis mellifera</i>	17
2.4 Toxicidade de Tiacloprido e Flupiradifurona sobre <i>Apis mellifera</i>	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Bioensaio 1: Pulverização direta dos inseticidas sobre <i>Apis mellifera</i>	23
3.2 Bioensaio 2: Fornecimento de dieta contaminada com os inseticidas sobre <i>Apis mellifera</i>	24
3.3 Bioensaio 3: Contato da <i>Apis mellifera</i> com superfície contaminada pelos inseticidas	24
3.4 Avaliação da capacidade de voo da <i>Apis mellifera</i>	24
3.5 Análise de dados	25
4 RESULTADOS	26
4.1 Mortalidade da abelha <i>Apis mellifera</i> após exposição direta aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido	26
4.2 Mortalidade da abelha <i>Apis mellifera</i> após exposição oral aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido	28
4.3 Mortalidade da abelha <i>Apis mellifera</i> após exposição aos resíduos dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido	29
4.4 Efeito de Flupiradifurona e Tiacloprido na capacidade de voo da abelha <i>Apis mellifera</i>	30

5 DISCUSSÃO	34
5.1 Mortalidade da abelha <i>Apis mellifera</i> após exposição direta aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido	34
5.2 Mortalidade da abelha <i>Apis mellifera</i> após exposição oral aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido	35
5.3 Mortalidade da abelha <i>Apis mellifera</i> após exposição aos resíduos dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido	36
5.4 Efeito de Flupiradifurona e Tiacloprido na capacidade de voo da abelha <i>Apis mellifera</i>	37
6 CONCLUSÕES	39
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

RESUMO

A abelha *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) é um dos principais polinizadores de plantas cultivadas e exploradas economicamente pelo homem. Todavia, nos últimos anos tem sido relatado o declínio na população de abelhas em áreas agrícolas de todo o mundo, sendo o uso abusivo de pesticidas uma das causas apontadas para este problema. Diante disso, surge a necessidade de avaliar a toxicidade dos pesticidas, em especial os inseticidas, sobre as abelhas. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito de doses dos inseticidas Flupiradifurona (Butenolida) e Tiacloprido (Neonicotinóide) na sobrevivência e capacidade de voo da abelha africanizada *A. mellifera*. O trabalho foi realizado no laboratório de Entomologia (sala climatizada a 25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ UR e fotofase de 12 h) pertencente a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), *Campus* Pombal-PB, Brasil. Para a execução do trabalho foram utilizadas operárias adultas da abelha africanizada *A. mellifera*, provenientes de três colmeias instaladas em caixas de madeira do tipo Langstroth, pertencentes ao apiário do CCTA/UFCG. Foram testadas três doses comerciais, registradas para o controle de pragas em diversas culturas, do inseticida Flupiradifurona ($0,1 \text{ g.i.a.L}^{-1}$, $0,15 \text{ g.i.a.L}^{-1}$ e $0,2 \text{ g.i.a.L}^{-1}$) e do inseticida Tiacloprido ($0,072 \text{ g.i.a.L}^{-1}$, $0,12 \text{ g.i.a.L}^{-1}$ e $0,168 \text{ g.i.a.L}^{-1}$). Os efeitos dos inseticidas foram testados em três modos de exposição: pulverização direta dos inseticidas sobre as abelhas, fornecimento de dieta contaminada pelos inseticidas e contato das abelhas com superfície contaminada. O inseticida Flupiradifurona foi extremamente tóxico para *A. mellifera* via pulverização direta, ocasionando mortalidade de 100% das abelhas, ao passo que causou baixa toxicidade quando fornecido via ingestão de dieta contaminada, com mortalidade de 15,6%, 15,97% e 16,4% nas doses $0,1 \text{ g.i.a.L}^{-1}$, $0,15 \text{ g.i.a.L}^{-1}$ e $0,2 \text{ g.i.a.L}^{-1}$, respectivamente. Após a exposição ao Flupiradifurona, a atividade motora de *A. mellifera* foi prejudicada, sendo observado tremores, prostração e paralisia em níveis acentuados. O inseticida Tiacloprido foi menos prejudicial para *A. mellifera*, causando menor mortalidade em todos os modos de exposição. O Tiacloprido causou baixa toxicidade quando fornecido via ingestão de dieta contaminada, com mortalidade de 8,1%, 25,4% e 33,9% para as doses $0,072 \text{ g.i.a.L}^{-1}$, $0,12 \text{ g.i.a.L}^{-1}$ e $0,168 \text{ g.i.a.L}^{-1}$, respectivamente. O referido inseticida foi mais tóxico quando aplicado diretamente sobre as abelhas e principalmente por meio do contato dos insetos em superfície contaminada, modo de exposição que proporcionou mortalidade de 53,7%, 55,9% e 57,1% da menor para maior dose avaliada, respectivamente. O Tiacloprido demonstrou ser menos agressivo, porém, também ocasionou distúrbios nas atividades motoras de *A. mellifera*. Em relação a capacidade de voo, foi observado que tanto Flupiradifurona quanto Tiacloprido afetaram a atividade de voo de *A. mellifera*, independentemente do modo de exposição e dose avaliada. As informações obtidas irão auxiliar no processo de desenvolvimento de estratégias de conservação desses polinizadores em áreas agrícolas.

Palavras Chaves: Polinizador, Pesticida, Toxicidade, Mortalidade

ABSTRACT

The *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) is one of the main pollinators of plants grown by mankind for economic purposes. However, in recent years the bee population has declined in agricultural areas all over the world, one of the main causes being the abuse of pesticides, particularly insecticides, directed towards the bee population. Therefore we aim to evaluate the effect of doses of the insecticides Flupyradifurone (*Butenolide*) as well as Thiacloprid (*Neonicotinoid*) on the survivability and flight capability of the Africanized bee *A. mellifera*. The study was conducted in UFCG (Federal University of Campina Grande), inside their Entomology Lab (air-conditioned room, 25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ UR and daylight regime of 12 hours) located in the CCTA (Center for Science and Agrifood Technology) in their Pombal (city in Paraíba) campus. Adult worker bees of the Africanized bee *A. mellifera* were used to carry out this study, said bees came from 3 Longstroth based beehives that belong to the CCTA/UFCG. Three commercial doses of the insecticide Flupyradifurone (0.1 g.i.a.L⁻¹, 0.15 g.i.a.L⁻¹ e 0.2 g.i.a.L⁻¹) and of the insecticide Thiacloprid (0.072 g.i.a.L⁻¹, 0.12 g.i.a.L⁻¹ e 0.168 g.i.a.L⁻¹), both registered for pest control in areas of several types of crops. The effects of the pesticide were tested under 3 methods of exposure: direct pulverization over the bees, via contaminated diet, and via a contaminated surface with which the bees interacted. The insecticide Flupyradifurone proved to be highly toxic for the *A. mellifera* when the bees were exposed to it by direct pulverization (mortality rate of 100%), while it caused a low level of toxicity when the bees were exposed to it via a contaminated diet (mortality rates of 15.6%, 15.97% and 16.4% in doses of 0.1 g.i.a.L⁻¹, 0.15 g.i.a.L⁻¹, and 0.2 g.i.a.L⁻¹, respectively). Upon exposure to Flupyradifurone the motor activity of the *A. mellifera* was damaged, resulting in high levels of twitching, making the bees prone and paralysis. The insecticide Thiacloprid proved to be less harmful to the *A. mellifera* causing a lower mortality rate in all methods of exposure. The Thiacloprid insecticide caused low levels of toxicity when supplied via the exposure method of a contaminated diet, with a mortality rate of 8.1%, 25.4% e 33.9% for doses of 0.072 g.i.a.L⁻¹, 0.12 g.i.a.L⁻¹, and 0.168 g.i.a.L⁻¹, respectively. Said insecticide was more toxic when directly pulverized over the bees, and particularly so when the insects interacted with the contaminated surface method of exposure which resulted in mortality rates of 53.7%, 55.9%, and 57.1% from the lowest to the highest of the aforementioned doses, respectively. The Thiacloprid insecticide was less aggressive, though it also caused disturbances in the motor activity of the *A. mellifera*. It was observed that both insecticides negatively affected the flight capability of the *A. mellifera*, regardless of dose and exposure method. The information collected will assist in developing strategies which aim to protect these pollinators in agricultural areas.

Keywords: Pollinator, Pesticide, Toxicity, Mortality

1. INTRODUÇÃO

As abelhas são insetos essenciais para polinização e manutenção dos ecossistemas terrestres (MACIEL et al., 2018). Em áreas agrícolas, a polinização realizada pelas abelhas é fundamental para maioria das culturas exploradas economicamente pelo homem (POTTS et al., 2016), destacando-se a espécie *Apis mellifera* Linneaus (Hymenoptera: Apidae) como um dos polinizadores mais eficientes (GIANNINI et al., 2015, CRIDLAND et al., 2017; KLEIN et al., 2020). *A. mellifera* é uma das espécies mais utilizadas para a polinização devido ao seu fácil manejo, tamanho de suas colônias, bem como pela eficiência e rapidez nesse processo em relação a outros polinizadores (PIRES et al., 2016; KLEIN et al., 2020).

Todavia, nas últimas décadas vem sendo constatada diminuição nas populações de abelhas em áreas agrícolas de todo o mundo, e diversos fatores contribuem para que isso aconteça, como por exemplo, modificação do habitat, plantio em monocultura, ataque de pragas, redução da oferta de alimento e uso indiscriminado de pesticidas, sendo este o principal fator para o desaparecimento dos polinizadores (KEARNS; INOUE, 1997; DEVINE; FURLONG, 2007). Esse fenômeno de desaparecimento das abelhas é denominado por “Colony Collapse Disorder” (CCD) e vem sendo estudado em diversas partes do mundo, principalmente em países da Europa e América do Norte (VAN ENGELSDORP et al., 2009).

No Brasil, apesar de escassas, pesquisas já começaram a ser desenvolvidas para constatar que em nosso território a CCD já está acontecendo (OLIVEIRA, 2015). Castilhos et al. (2019), relataram que aproximadamente 50% das colônias de abelhas são perdidas anualmente nas diferentes regiões do país, resultando em um impacto de aproximadamente 1 bilhão de abelhas mortas, sendo o uso de pesticidas uma das causas apontadas para o declínio dos polinizadores. As abelhas podem ser expostas aos pesticidas por meio do contato direto com gotículas de pulverização, contato com resíduos dos produtos nas plantas e também pela ingestão de alimento contaminado (TANING et al., 2019; VARIKOU et al., 2019).

É importante ressaltar ainda, que a exposição aos pesticidas além de poder ocasionar a morte das abelhas, pode provocar efeitos subletais, como diminuição na capacidade de forrageamento, efeito na longevidade do inseto, redução no aprendizado, perda de memória e distúrbios comportamentais, afetando suas atividades motoras (WU-SMART; SPIVAK, 2016). A toxicidade de muitos inseticidas já foi avaliada sobre a abelha *A. mellifera*, e produtos como o Tiametoxam (ROSSI et al., 2013; COSTA et al., 2014), Fipronil (OLIVER et al., 2015),

Imidacloprido (TOMÉ et al., 2017), Deltametrina (ZHANG et al., 2019), Abamectina (WANG et al., 2020), Acetamiprido (SHI et al., 2020) e Clorpirifós (EL- MASARAWY et al., 2021) são classificados como nocivos a esta abelha. Em relação aos efeitos letais e subletais dos inseticidas Tiacloprido e Flupiradifurona, ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos, especialmente nas doses registradas para uso no Brasil e em diferentes formas de exposição aos produtos.

Contudo, Fischer et al. (2014) demonstraram que, em campo, as abelhas *A. mellifera* expostas oralmente a dose de 1,25 μg abelha⁻¹ do Tiacloprido, não apresentaram comprometimento significativo no desempenho do voo de forrageamento. Porém, Tison et al. (2016) relataram não apenas uma mudança na atividade de forrageamento e no desempenho de navegação, mas também uma redução no sucesso de retorno para colônia e na comunicação social após exposição oral crônica a 4,5 ng μL^{-1} de Tiacloprido. Já em relação ao Flupiradifurona, Hesselbach; Scheiner, (2018) mostraram que a exposição aguda a dose 1,2 μg / abelha do inseticida prejudica a capacidade de cognição do inseto. Tong et al., (2019) identificaram que no momento de forrageamento, após exposição ao inseticida Flupiradifurona, as abelhas *A. mellifera* apresentaram distúrbios motores que comprometem as atividades normais das abelhas.

Mesmo com as contribuições citadas acima, são necessárias novas pesquisas para esclarecer os efeitos letais e subletais de doses comerciais dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido, em diferentes modos de exposição, sobre *A. mellifera*. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho consistiu em avaliar os efeitos de diferentes doses comerciais dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido na sobrevivência e atividade de voo de operárias da abelha *A. mellifera*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da abelha *Apis mellifera* sob perspectiva ecológica, econômica e agrícola

Dentre os principais agentes polinizadores existentes temos as abelhas, destacando-se a espécie *A. mellifera*, apontada como o polinizador de maior importância agrícola no mundo (ASCHER; PICKERING, 2017) em que três de cada quatro das culturas que produzem frutos ou sementes para consumo humano no mundo dependem das abelhas (FAO, 2021). Para utilizar abelhas na agricultura, precisamos de espécies com ampla distribuição geográfica em que manejo e multiplicação de ninhos seja conhecida. Nesse cenário, a *A. mellifera* é bastante utilizada por ser uma espécie generalista, com muitas operárias por ninho que comunicam umas às outras as fontes de alimento disponíveis (GALLAI et al., 2009).

O nível de contribuição das abelhas para a agricultura vem sendo amplamente discutido e estudado, sendo evidenciada a importância desses insetos e os destacando como sendo os polinizadores primários para a maioria das culturas que necessitam de polinização entomófila (CONTIERO; ACHTERBERG, 2017). Em 2007, o valor global do mel exportado, que é o principal produto explorado pela apicultura, foi de 1,25 bilhão de dólares (VAN ENGELSDORP; MEIXNER, 2010), valor bastante inferior quando comparados ao dos serviços ecossistêmicos da polinização oriundos das abelhas, que foi de 212 bilhões de dólares (POTTS et al., 2010). Em relação ao Brasil, de 141 culturas exploradas comercialmente, 85 dependem dos polinizadores, e os serviços de polinização gera um mercado de aproximadamente US\$45 bilhões anuais (GIANNINI et al., 2015).

Áreas com a adição de colônias de *A. mellifera* produziram 18,09% a mais quando comparadas às áreas que foram privadas da visita de polinizadores, assim como as abelhas nativas da região aumentaram a produção em 6,34% (MILFONT et al., 2013). Paudel et al. (2015) identificaram que na ausência da *A. mellifera* em pomares de maçã, cerca de 90% das flores abortaram, resultando num rendimento produtivo mínimo, identificando uma dependência elevada da presença da *A. mellifera* em áreas de produção de maçã. O mesmo acontece em áreas de diferentes culturas comerciais, como por exemplo, em meloeiro (VARASSIN; AMARAL-NETO, 2014), café (MELO; SOUSA, 2011), tomate (GIANNINI et al., 2015), laranja (TOLEDO et al., 2013), cajueiro (FREITAS; BONFIM, 2017).

2.2 Controle químico de insetos na agricultura

O produtor rural brasileiro pratica agricultura em um cenário adverso, o clima tropical é favorável para o desenvolvimento de pragas que prejudicam a lavoura, como insetos, ácaros, fungos e plantas invasoras. Diante desse contexto, o uso dos pesticidas tornou-se uma necessidade para garantir uma produção de qualidade em todo o país. Porém, com a redução da rotação de culturas e o avanço da monocultura, houve um aumento da incidência de pragas e doenças nas lavouras, sendo necessário o desenvolvimento de novas técnicas, formulações e formas de manejo para a proteção das culturas. Apesar da eficácia, o uso demorado de inseticidas pode provocar o aumento das pragas ao invés de combatê-las, devido à seleção de populações resistentes, ocasiona a dependência das lavouras aos defensivos agrícolas, agredindo ainda mais a fauna e dizimando os polinizadores (CHAGAS, 2021).

Na agricultura brasileira e mundial o método mais utilizado no controle de pragas é a aplicação de produtos químicos (com atividade inseticida, fungicida, bactericida, herbicida, entre outros) no intuito de reduzir a população-alvo e proteger a produção (MOSTAFALOU; ABDOLLAHI, 2013). Os defensivos agrícolas são produtos químicos, físicos ou biológicos que são utilizados nas áreas de produção agrícola, com a finalidade de combater pragas e doenças das culturas nas áreas produtivas (CARNEIRO et al., 2015). Estima-se que no ano de 2017 no Brasil, 33% dos estabelecimentos, representado por mais de 1.680.000 estabelecimentos utilizaram algum tipo de defensivo agrícola (IBGE, 2017).

Nem todos os defensivos se destinam unicamente a uma classe de uso, podendo ter uma ação conjunta sobre tipos diversos de pragas e apresentando níveis de eficiência diferentes conforme as culturas em que são utilizados. Apesar das diversas classes existentes, juntos: inseticidas, fungicidas e herbicidas, representaram 94,8% do consumo mundial de defensivos agrícolas entre o período de 1960 a 2003 (VELASCO; CAPANEMA, 2006).

Em 2012, os inseticidas correspondiam a 12% das vendas de agrotóxicos no mercado nacional, sendo os principais Bentazona, Bispiribaque-sódico, Clomazona, Cialofope-butílico, Etoxisulfurom, Imazapique, Pirazossulfurom-etílico, Propanil e Tiobencarbe, Benfuracarbe, Beta-ciflutrina, Fipronil, Imidacloprido, Tiametoxam (CASSAL et al., 2014). O Imidacloprido é atualmente um dos compostos mais utilizado mundialmente (KRUPKE et al., 2012). Outros compostos pertencentes a esta classe são o Acetamiprido, Tiametoxam, Nitempiram, Clotianidina, Dinotefurano e o Tiacloprido (DURO, 2013).

Assim, a pressão do mercado mundial por produtos certificados, principalmente nos países desenvolvidos, exige a regulamentação do processo produtivo desde a origem da matéria prima. Hoje, a maioria dos defensivos atua em áreas como o sistema endócrino do organismo vivo, impedindo o metabolismo celular, por exemplo, com intuito de reduzir efeitos negativos aos seres humanos e também ao ambiente (ALMUSSA; SCHMIDT, 2018).

2.3 Toxicidade de inseticidas sobre *Apis mellifera*

Por muito tempo acreditava-se que o controle químico trazia apenas benefícios. Apenas a partir da década de 1960 foi que surgiram os primeiros trabalhos relatando a real periculosidade desses produtos, ganhando repercussão internacional (CARSON, 1962; PANIZZI, 1978). Entretanto, os efeitos dos pesticidas sobre os polinizadores só ganharam atenção nos últimos anos devido à crise que o setor apícola vem passando decorrente da perda de colônias na América do Norte e Europa (NATIONAL AGRICULTURAL STATISTICS SERVICE, 2008; POTTS et al., 2010). As evidências ao crescente declínio de populações de abelhas apontam combinações múltiplas de fatores bióticos e abióticos, dentre eles destacam-se os pesticidas aplicados no manejo de pragas agrícolas, especialmente os inseticidas (SIMONDELSON et al., 2014; GOULSON et al., 2015; NICHOLLS et al., 2017).

Insetos polinizadores, em especial as abelhas, são os que mais sofrem alterações comportamentais e ou fisiológicas, devido à sua vulnerabilidade a intoxicações por inseticidas que podem ter uma influência sobre a aprendizagem do inseto, sua capacidade de orientação, forrageamento e na sua prole. Esse cenário reforça a necessidade de uma atenção especial para este grupo de polinizadores, pois nas últimas décadas, vem sendo registrado o desaparecimento de colônias de abelhas em um fenômeno chamado de “Colony Collapse Disorder” (Distúrbio do Colapso das Colônias ou CCD), em que apicultores de diversos países relatam inúmeras perdas de colônias (GOULSON et al., 2015).

No Brasil, existem poucas informações sobre este fenômeno, tornando-se cada vez mais necessárias pesquisas visando à identificação da causa desse desaparecimento (PIRES et al., 2016). No entanto, sabe-se que o uso indiscriminado de defensivos agrícolas no país, é um fator que está associado ao aumento da intoxicação das abelhas, com o consequente desaparecimento desses polinizadores (VANDAME; PALACIO, 2010).

A intoxicação por inseticidas pode ser determinada através do efeito letal que o produto causa ao entrar em contato com o indivíduo e também através de efeitos mais sutis, relacionados, por exemplo, com a fisiologia ou comportamento das abelhas (como paralisia, desorientação ou mudanças comportamentais) que são bem menos detectáveis, mas podem

afetar toda população (HAYNES, 1988; PHAM-DELÈGUE et al., 2002; DECOURTYE et al., 2004; GUEZ et al., 2005; VAN ENGELSDORP; MEIXNER, 2010). Alguns estudos têm relacionado à contaminação por inseticidas com a diminuição na capacidade em reconhecer uma fonte de alimento e em se deslocar (AIZEN et al., 2009; SILVA, 2014).

No início do ano de 2000, diversos estudos começaram a ser realizados com a finalidade de avaliar a toxicidade de inseticidas utilizados em meios de cultivo nos países de clima temperado, resultando em um cenário maior de difusão de conhecimento dessas áreas específicas (MORAES et al., 2000). A maioria dos estudos de toxicidade tem utilizado a espécie *A. mellifera* como modelo principal em diversos bioensaios, devido à importância do seu serviço de polinização, globalmente reconhecido (BRITTAIN; POTTS, 2011; LOURENÇO et al., 2012).

Diversos inseticidas já foram relatados como nocivos às operárias de *A. mellifera*. Freitas; Pinheiro (2010) identificaram que a exposição ao inseticida Acetamiprido afeta negativamente as abelhas em sua capacidade de comunicação, devido seu modo de ação neurotóxico. Smaghe et al. (2013) testando a toxicidade do inseticida Clorantropilprole em *Bombus terrestris* e *A. mellifera*, identificaram uma baixa mortalidade, quando fornecido via dieta contaminada em ambas espécies.

Diferentes estudos comprovam o efeito letal da exposição de *A. mellifera* ao inseticida Tiametoxam. Costa et al. (2014), avaliando a toxicidade de inseticidas utilizados na cultura do melão (*Cucumis melo* L), identificaram que o inseticida Tiametoxam foi extremamente tóxico para *A. mellifera* em todos os modos de exposição testados (pulverização direta, fornecimento de dieta contaminada e contato com superfície contaminada).

Catae et al. (2014) identificaram que uma dose subletal (0,0428 ng/mL por abelha) de Tiametoxam afetam funções como absorção e excreção, exercidas pelos túbulos de malpighi que são danificados após exposição ao produto. Já Oliveira et al. (2014) observaram que as abelhas tratadas com concentrações subletais de Tiametoxam (1/10 e 1/100 da CL50 4,28 ng ia / μ L), apresentaram células digestivas com vacuolização citoplasmática, aumento de secreção apócrina e aumento da eliminação dessas células, após 1 dia de intoxicação. Por fim, Tavares et al. (2015) avaliaram os efeitos do inseticida Tiametoxam no cérebro de larvas de *A. mellifera* em doses letais e subletais (0,5; 5; 15; 50; 150 e 500 ng i.a./ μ L), concluindo em seus estudos que, após a exposição a doses subletais, ocorreram mortes celulares atemporais no cérebro.

Gomes et al. (2020) avaliando a toxicidade dos inseticidas Azadiractina, Piriproxifeno, Clorantropilprole e Imidacloprido, ambos aplicados em cultivo de melão cantaloupe, com doses de 0,0x, 0,1x e 1.0x das concentrações recomendadas pelos fabricantes, identificaram

que o inseticida Imidacloprido foi extremamente tóxico para *A. mellifera*, causando 90% de mortalidade via pulverização direta, ingestão de dieta contaminada e contato com superfície contaminada, além de afetar significativamente a capacidade de voo dos insetos, Azadiractina ocasionou mortalidade via ingestão de dieta contaminada, afetando também a capacidade de voo dos insetos e o Piriproxifeno que ocasionou mortalidade via contato com superfície contaminada, todos diferindo do inseticida Clorantropilprole, que apenas afetou a capacidade de voo dos insetos.

Dworzanska et al. (2020), estudando a influência dos inseticidas Deltametrina e Acetamiprido sobre operarias de *A. mellifera* no período 2012 a 2018, observaram que o Acetamiprido foi pouco tóxico para os insetos em todas as avaliações, diferente da exposição ao inseticida Deltametrina, que ocasionou elevada taxa de toxicidade para os insetos. Bommuraj et al. (2020), buscando determinar a toxicidade de inseticidas ao decorrer do tempo de exposição sobre *A. mellifera*, identificaram que o Tiacloprido foi pouco tóxico quando comparado aos inseticidas Imidacloprido, Acetamiprido e Coumafós.

Shi, et al. (2020), identificando os efeitos da exposição do inseticida Acetamiprido sobre operarias adultas de *A. mellifera* com 1 dia e 7 dias de idade e larvas de 2 dias a 14 dias alimentadas continuamente com soluções de Acetamiprido (0, 5 e 25 mg / L), observaram que o Acetamiprido acima de 5 mg / L atrapalhou o desenvolvimento, envolvendo o peso ao nascer e taxa de emergência de abelhas recém-emergidas, e reduziu a proporção de células encapsuladas de larvas em 25 mg / L, e a expectativa de vida das abelhas tratadas com Acetamiprido a 25 mg / L foi significativamente reduzida.

Miotelo et al. (2021) quantificando a sensibilidade de *A. mellifera* e *Melipona Scutellaris* (Hymenoptera: Apidae) ao inseticida Tiametoxam via ingestão de dieta contaminada, obtiveram resultados que demonstraram que a *M. scutellaris* é mais sensível ao inseticida do que *A. mellifera*, com menor CL₅₀ de 0,0543 ng de ingrediente ativo (ia) / µL para a abelha *M. scutellaris*, em comparação a 0,227 ng ia / µL para *A. mellifera*.

Serra et al. (2021) observaram que a exposição de *A. mellifera* ao inseticida Espiromesifeno via ingestão de dieta contaminada com a dose recomendada pelo fabricante ocasionou alterações histológicas e citológicas no intestino médio dos insetos, incluindo desorganização da arquitetura epitelial, liberação de fragmentos celulares para a luz, acúmulo de mitocôndrias no citoplasma apical, alteração do labirinto basal, alterações no retículo endoplasmático rugoso e degeneração celular.

Mesmo diante das diversas informações encontradas na literatura sobre a toxicidade dos inseticidas sobre *A. mellifera*, constantemente novos inseticidas estão sendo registrados,

tornando-se essencial o aprofundamento na busca dos efeitos que estes podem causar nas abelhas.

2.4 Toxicidade de Tiacloprido e Flupiradifurona sobre *Apis mellifera*

O inseticida Flupiradifurona, pertencente ao grupo químico dos Butenolidas, pode ser utilizado via pulverização direta na planta ou no tratamento precoce das sementes, devido a sua capacidade de movimentação translaminar, proporcionando proteção sistêmica a planta, sendo eficaz contra insetos pragas de diversas culturas, como por exemplo, algodão, repolho e meloeiro (RAUPACH et al., 2012). Por se tratar de um inseticida que se transloca pela planta, seus efeitos tornam-se mais acentuados quando ingerido pelo inseto praga, o que pode estar diretamente ligado com a sua seletividade aos inimigos naturais (SILVA et al., 2017).

O Flupiradifurona atua diretamente no sistema nervoso central do inseto, sendo modulador competitivo de receptores nicotínicos da acetilcolina, ocasionando um constante estímulo nas células nervosas do inseto, o levando a hiperexcitação e conseqüentemente a morte (JESCHKE et al., 2012). Existem poucos estudos sobre os efeitos do Flupiradifurona sobre *A. mellifera*, Hesselbach; Scheiner, (2018) mostraram que a exposição a uma dose elevada (1.2 mg / abelha⁻¹) prejudicou a capacidade cognitiva das abelhas. Tong et al., (2019), encontraram resultados que demonstram que em todas as doses testadas (37.5, 75, 150, 300, 600, 1200 ppm) o Flupiradifurona prejudicou o comportamento de *A. mellifera*. Tan et al. (2017) avaliando a toxicidade e efeitos da exposição de abelhas *Apis cerana* Fabricius, identificaram que em todas as doses avaliadas, as abelhas reduziram sua capacidade olfativa. Al Naggari; Baer. (2019), testando os efeitos de uma única exposição do inseticida Flupiradifurona sobre *A. mellifera* em sua fase larval e adulta com doses subletais (0,025 µg para larvas e 0,645 µg para adultos), constataram que as abelhas expostas foram afetadas significativamente em relação à sobrevivência, como também houve alteração na expressão de vários genes imunológicos e de desintoxicação.

O Tiacloprido é um neonicotinoide, grupo químico bastante utilizado em áreas agrícolas para o manejo de insetos – praga. Os neonicotinoides comercializados e mais utilizados são: Acetamiprido, Clotianidina, Dinotefuran, Imidacloprido, Nitenpiram, Tiacloprido e Tiametoxam (JESCHKE et al., 2011). Para muitos neonicotinóides já existem pesquisas que relatam alta toxicidade sobre abelhas *A. mellifera*, como por exemplo Tiametoxam (TAVARES et al., 2015), Acetamiprido (STANLEY, et al., 2015), Clotianidina (TISON et al., 2019) e Imidacloprido (MANZIN, et al., 2020).

Contudo, para o Tiacloprido ainda são poucas as informações disponíveis. Brandt et al. (2016) estudando os efeitos subletais da exposição dos inseticidas Imidacloprido, Clotianidina e Tiacloprido sobre *A. mellifera*, identificaram que eles reduzem a imunocompetência das abelhas por ocasionarem, até mesmo em concentrações realísticas encontradas em campo, a diminuição do número de hemócitos e a atividade antimicrobiana, possivelmente levando a um comprometimento da capacidade de resistir a doenças. Forfert; Moritz. (2017), estudando os efeitos da exposição do Tiacloprido sobre *A. mellifera*, identificaram que a capacidade de comunicação das abelhas foi afetada, reduzindo a interação entre elas, porém, ainda constataram que houve interação após exposição.

Shi et al. (2018), traçaram o perfil das mudanças metabólicas que ocorreram no cérebro de *A. mellifera* após exposição de 2 mg / L de Tiacloprido durante 3 dias, com dose estimada por abelha de 0,12 µg. Os resultados mostraram que havia 115 metabólitos significativamente afetados em abelhas tratadas com Tiacloprido em comparação com o controle, sendo observado uma redução da serotonina, sugerindo que o Tiacloprido afeta a atividade cerebral implicada na aprendizagem e no desenvolvimento do comportamento.

Bommuraj et al. (2020), estudando o efeito de diferentes tempos de exposição (exposições diárias com o período máximo de 10 dias) dos pesticidas Tiacloprido, Imidacloprido, Acetamiprido, Coumafós, Dimetilfenil, Metilformamidina, o inseticida Tiacloprido foi significativamente menos tóxico para *A. mellifera* em comparação aos inseticidas Imidacloprido e o Acetamiprido, concluindo que os efeitos da exposição sobre as abelhas não dependem apenas da formulação, como também do tempo de exposição. Já Fent et al. (2020) identificaram que a exposição via ingestão de dieta contaminada (25 e 250 ng / abelha) por 72 horas do inseticida Tiacloprido sobre *A. mellifera* causaram alterações dos genes proeminentemente associados às mitocôndrias, particularmente a fosforilação oxidativa, comprometendo o crescimento e a capacidade de forrageamento dos insetos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no laboratório de Entomologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), Campus Pombal-PB, Brasil. As operárias adultas da abelha africanizada *A. mellifera* foram oriundas de três colmeias instaladas em caixas de madeira do tipo Langstroth, pertencentes ao apiário do CCTA/UFCG.

Os inseticidas avaliados foram o Flupiradifurona (Sivanto Prime[®] 200 SL), pertencente ao grupo químico das Butenolidas e recomendado pelo fabricante para várias culturas de importância agrícola no Brasil, como por exemplo, o café (*Coffea arabica* L.), meloeiro (*Cucumis melo* L.) e laranja [*Citrus sinensis* (L.)], e o Tiacloprido (Calypso[®]), pertencente ao grupo químico dos Neonicotinóides, sendo este recomendado para culturas como meloeiro, tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e a soja (*Glycine max* L.), todas culturas que dependem da polinização realizada por *A. mellifera*.

Foram avaliadas três doses comerciais de cada inseticidas, seguindo as recomendações dos fabricantes. Além disso, como testemunha positiva foi utilizado o inseticida Tiametoxam (Actara[®] 250 WG), pertencente ao grupo químico dos Neonicotinóides, na sua dosagem máxima recomendada pelo fabricante para cultura do meloeiro (Tabela 1).

Tabela 1. Inseticidas e respectivas doses avaliadas com relação ao efeito letal sobre abelhas africanizadas *Apis mellifera*, expostas a pulverização direta, ingestão de dieta contaminada e contato com superfície contaminada, Pombal – PB, 2021.

INGREDIENTE ATIVO	GRUPO QUÍMICO	MODO DE AÇÃO	DOSE AVALIADA (g i.a. L ⁻¹)	PRAGA ALVO
Tiametoxam	Neonicotinóide	Moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina	0,3	<i>Bemisia tabaci</i> biótipo B <i>Aphis gossypii</i>
Flupiradifurona	Butenolida	Moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina	0,1 0,15 0,2	<i>Bemisia tabaci</i> biótipo B
Tiacloprido	Neonicotinóide	Moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina	0,072 0,12 0,168	<i>Bemisia tabaci</i> biótipo B <i>Thrips palmi</i> <i>Thrips tabaci</i> <i>Myzus persicae</i>

O efeito letal dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido sobre *A. mellifera* foi avaliado por meio de três bioensaios distintos, correspondentes a três formas de exposição das

abelhas aos produtos, sendo estas: pulverização direta sobre as abelhas, fornecimento de dieta contaminada pelos inseticidas (oral) e contato das abelhas com os resíduos dos inseticidas em superfície recém pulverizada, seguindo a metodologia utilizada por Costa et al. (2014).

Para os três bioensaios foram utilizados recipientes plásticos como arena (15 cm de diâmetro X 15 cm de altura) para o confinamento das abelhas. As arenas apresentavam a extremidade superior parcialmente coberta com tela antiafídeo e as laterais com aberturas de aproximadamente 0,1 cm para possibilitar a adequada circulação de ar no ambiente. Em cada arena foi adicionado em seu interior pasta Cândi (dieta artificial de açúcar refinado + mel) em recipientes plásticos de 28 mm de diâmetro e um chumaço de algodão embebido em água destilada, o qual foi renovado a cada hora de avaliação. Para facilitar o manuseio durante a preparação dos bioensaios, as abelhas foram previamente anestesiadas por meio do uso do frio ($\pm 4^{\circ}\text{C}$ durante 90 segundos).

Os três bioensaios foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, composto por 8 tratamentos [1 – Testemunha absoluta (água destilada); 2 – Testemunha positiva (Tiametoxam 0,3 g i.a. L^{-1}); 3 – Flupiradifurona dose 1 (0,1 g i.a. L^{-1}); 4 – Flupiradifurona dose 2 (0,15 g i.a. L^{-1}); 5 – Flupiradifurona dose 3 (0,2 g i.a. L^{-1}); 6 – Tiacloprido dose 1 (0,072 g i.a. L^{-1}); 7 – Tiacloprido dose 2 (0,12 g i.a. L^{-1}); 8 – Tiacloprido dose 3 (0,168 g i.a. L^{-1})], em 10 repetições por tratamento, sendo distribuídas 10 abelhas adultas de *A. mellifera* em cada unidade experimental (arena). Os três bioensaios foram repetidos para aumentar a confiabilidade das informações. Todos os bioensaios foram realizados em sala climatizada a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $60 \pm 10\%$ UR e fotofase de 12 h.

Após a aplicação dos tratamentos, foram avaliados a mortalidade e comportamento das abelhas a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48 horas após o início da exposição aos inseticidas, sendo o comportamento (prostração, tremores e paralisia) monitorado e registrado a partir dos primeiros 60 minutos após a aplicação dos inseticidas até o final do período da avaliação. As abelhas que não respondiam a estímulos mecânicos (toques no corpo) a cada período de avaliação foram registradas como mortas.

Além do efeito letal, também foi avaliada a capacidade de voo das abelhas que sobreviveram após as 48 horas de exposição em cada bioensaio, seguindo a metodologia proposta por Gomes et al. (2020).

3.1 BIOENSAIO 1: PULVERIZAÇÃO DIRETA DOS INSETICIDAS SOBRE *Apis mellifera*

Após a distribuição das abelhas nas arenas, foi realizada a pulverização direta de acordo com o tratamento proposto sobre as mesmas, com o auxílio de um pulverizador manual, simulando uma situação de campo. Em seguida foram avaliados os efeitos dos inseticidas sobre as abelhas pelo período de 48 horas.

3.2 BIOENSAIO 2: FORNECIMENTO DE DIETA CONTAMINADA COM OS INSETICIDAS SOBRE *Apis mellifera*

As abelhas utilizadas neste bioensaio ficaram previamente sem alimentação por 2 horas. Inicialmente foi preparada a dieta artificial (pasta Cândi) e em seguida os inseticidas foram pulverizados sobre a dieta utilizando um pulverizador manual, simulando uma situação de campo. Com as abelhas distribuídas nas arenas, o alimento contaminado pelos inseticidas foi inserido no interior das mesmas, juntamente com o algodão embebido em água destilada. Feito isso, as abelhas ficaram sob observação constante até que se obteve a confirmação da ingestão do alimento, sendo posteriormente avaliados os efeitos dos inseticidas durante o período de 48 horas.

3.3 BIOENSAIO 3: CONTATO DA *Apis mellifera* COM SUPERFÍCIE CONTAMINADA PELOS INSETICIDAS

Inicialmente as arenas foram pulverizadas com cada inseticida e respectiva dose, utilizando um pulverizador manual para auxiliar o procedimento, de modo que as gotículas cobrissem uniformemente toda a superfície interna das arenas. Posteriormente, as arenas permaneceram durante 15 minutos sobre a bancada experimental do laboratório para a devida secagem dos tratamentos. Após a secagem, foram colocados no interior das arenas um chumaço de algodão embebido em água destilada e a pasta Cândi. Após isso, as abelhas foram inseridas nas arenas.

3.4 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE VOO DE *Apis mellifera*

A avaliação da capacidade de voo das abelhas que sobreviveram em cada bioensaio foi realizada com auxílio de uma torre de voo, seguindo a metodologia utilizada por Gomes et al. (2020). A torre de voo foi construída com estrutura de madeira (35 × 35 × 115 cm), aberta em seu interior, e com uma lâmpada fluorescente no topo. Todas as laterais da torre foram cobertas por um plástico transparente, para permitir a visualização perfeita do voo das abelhas. As avaliações ocorreram em uma sala escura, com temperatura média de 25 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 60 ± 10%, onde a única fonte de luz era a lâmpada instalada no topo da torre,

com o objetivo de atrair as abelhas por meio do fototropismo positivo, ou seja, estimulando o voo em direção à luz.

Devido ao número de abelhas utilizadas nos bioensaios, foi estabelecido o limite máximo de 100 abelhas (50% do total utilizado na avaliação do efeito letal) para avaliação da capacidade de voo por tratamento. Para os tratamentos em que não foi possível utilizar 100 abelhas, foram utilizadas todas as sobreviventes. Cada abelha sobrevivente foi colocada individualmente na base da torre (altura 0 cm), sendo permitido um período de 60 segundos para a conclusão do voo, e a partir daí foi observada a altura final que cada abelha atingiu. A torre de voo apresentou cinco níveis de altura: 0 (base da torre), 1 (de 1 cm a 30 cm de altura), 2 (de 31 cm a 60 cm de altura), 3 (de 61 cm a 90 cm de altura) e 4 (de 91 cm até 115 cm, local onde estava a lâmpada).

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

As médias de mortalidade foram corrigidas pela fórmula de Abbott (1925), sendo em seguida aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (1952) ao nível de 5% de significância seguido do teste de Wilcoxon.

- Fórmula de Abbott (1925):

$$E \% = \frac{T - T_r}{T} \times 100$$

Os dados de sobrevivência das abelhas foram analisados usando o pacote “survival” (THERNEAU; LUMLEY, 2010) para o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010) e submetidos a uma análise de distribuição Weibull. Os tratamentos com efeitos similares (toxicidade e velocidade de mortalidade) foram agrupados por meio de contrastes. O tempo letal mediano (TL₅₀) também foi calculado para cada grupo. Já para a capacidade de voo foi realizada análise descritiva, sendo construídos gráficos para apresentação dos dados observados.

4. RESULTADOS

4.1 Mortalidade da abelha *Apis mellifera* após exposição direta aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido

O inseticida Flupiradifurona via pulverização direta sobre *A. mellifera*, ocasionou a morte de 100% das abelhas nas três doses comerciais avaliadas, sendo estatisticamente igual à testemunha positiva, o inseticida Tiametoxam. Na primeira hora de observação, 50% (dose 0,1 g.i.a.L⁻¹) a 70% (dose 0,2 g.i.a.L⁻¹) das abelhas apresentaram tremores, prostração e paralisia antes da morte. O inseticida Tiacloprido ocasionou mortalidade moderada das abelhas nas doses mínima, intermediária e máxima utilizadas, respectivamente, porém, após a pulverização, cerca de 40% das abelhas apresentaram paralisia, porém, posteriormente recuperaram os movimentos (Tabela 2).

Tabela 2. Mortalidade (%) de abelhas africanizadas *Apis mellifera* expostas a pulverização direta, ingestão de dieta contaminada e contato com superfície contaminada, Pombal – PB, 2021.

Tratamentos	Dose (g i.a L ⁻¹)	Exposição	Exposição	Exposição
		Direta	Oral	Residual
		Mortalidade (%)	Mortalidade (%)	Mortalidade (%)
Testemunha Absoluta (água destilada)	-	0,00c	0,00e	0,00e
Testemunha Positiva (Tiametoxam)	0,3	100,00a	97,50±1,2a	100,00a
Flupiradifurona	0,1	100,00a	15,61±3,7cd	73,18±2,8c
Flupiradifurona	0,15	100,00a	15,97±3,7cd	80,79±3,8bc
Flupiradifurona	0,2	100,00a	16,44±3,5cd	80,80±5,0b
Tiacloprido	0,072	35,30±6,8b	8,06±2,7d	53,69±4,4d
Tiacloprido	0,12	45,07±5,7b	25,43±6,0bc	55,87±4,1d
Tiacloprido	0,168	46,33±6,9b	33,92±6,1b	57,12±5,1d

*Mortalidade corrigida pela equação de Abbott (1925) e médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal – Wallis ao nível de 5% de significância.

Em relação à análise de sobrevivência, houve uma diferença notável nos valores do Tempo Letal Mediano (TL₅₀) para os inseticidas avaliados. Dentre os inseticidas, os maiores valores do TL₅₀ foram observados para as doses do Tiacloprido (Grupos 5 e 6), sendo a dose 0,072 g.i.a.L⁻¹ (grupo 5) a que apresentou o maior TL₅₀ (70,28 h) após a testemunha absoluta. Para o inseticida Flupiradifurona, independente da dose utilizada, observou-se redução rápida na sobrevivência das abelhas, com TL₅₀ inferior a 4 horas (Grupos 3 e 4). A dose 0,2 g.i.a.L⁻¹ de Flupiradifurona foi a que apresentou a velocidade de mortalidade (TL₅₀ = 2,15 h) mais próxima da testemunha positiva (TL₅₀ = 1 h) (Figura 1).

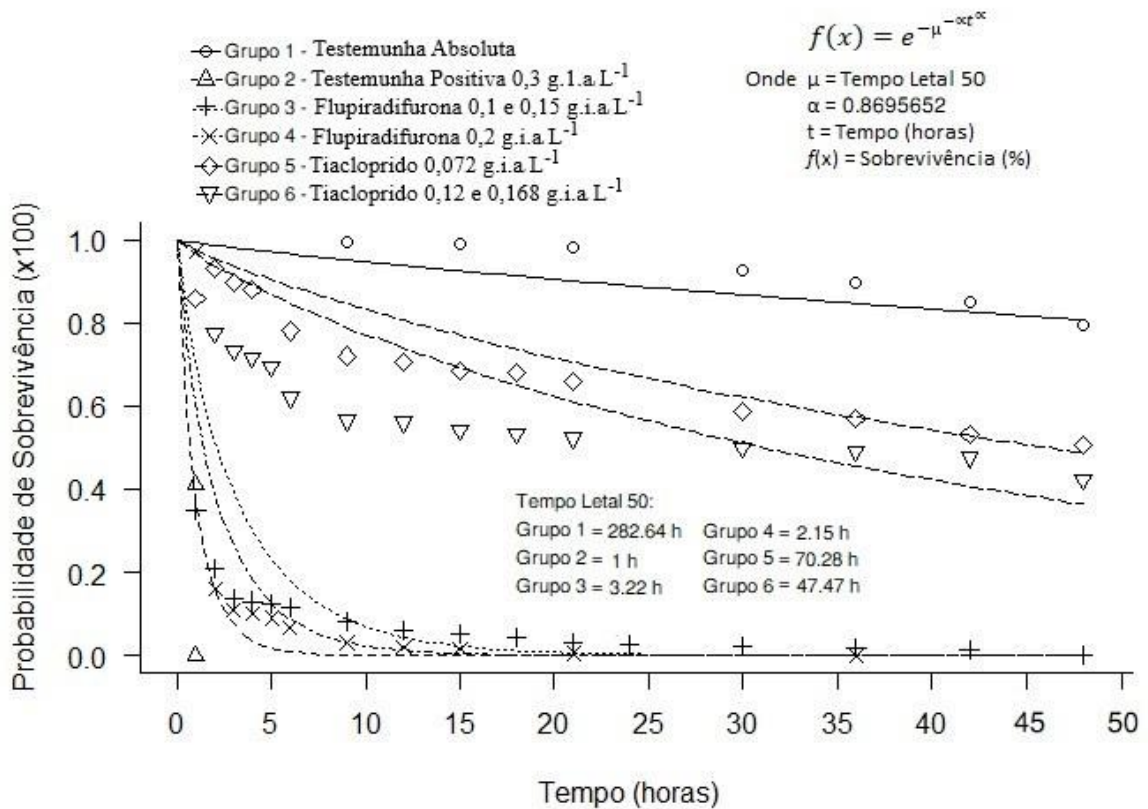


Figura 1. Sobrevivência (%) de *Apis mellifera* após pulverização direta com diferentes inseticidas, Pombal – PB, 2021.

Fonte: COELHO, D. A., 2021.

4.2 Mortalidade da abelha *Apis mellifera* após exposição oral aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido

Para a exposição oral, o inseticida Flupiradifurona ocasionou baixa mortalidade das abelhas em suas doses 0,1 g.i.a.L⁻¹, 0,15 g.i.a.L⁻¹ e 0,2 g.i.a.L⁻¹ respectivamente, diferindo estatisticamente da testemunha positiva (Tiametoxam), que ocasionou a morte de 97,50% das abelhas. O inseticida Tiacloprido também diferiu estatisticamente do inseticida Tiametoxam, ocasionando 8,06%, 25,43% e 33,92% de mortalidade sobre *A. mellifera* em suas doses 0,072 g.i.a.L⁻¹, 0,12 g.i.a.L⁻¹ e 0,168 g.i.a.L⁻¹ respectivamente (Tabela 2).

No bioensaio referente à ingestão de dieta contaminada com os inseticidas sobre *A. mellifera*, o inseticida Flupiradifurona dose 0,1 g.i.a.L⁻¹, 0,15 g.i.a.L⁻¹ e 0,2 g.i.a.L⁻¹; e a dose 0,072 g.i.a.L⁻¹ do inseticida Tiacloprido foram menos tóxico por ingestão, apresentando a maior TL₅₀ (304,56 h) entre os inseticidas e doses avaliadas, com todos ocasionando mortalidade inferior a 20%. O grupo 4 (Tiacloprido dose 0,12 g.i.a.L⁻¹ e 0,168 g.i.a.L⁻¹) obteve TL₅₀ (143,05 h), com taxas de mortalidade 25,43% e 33,92% (Figura 2). O inseticida Flupiradifurona apresentou baixa toxicidade quando fornecido via ingestão de dieta contaminada.

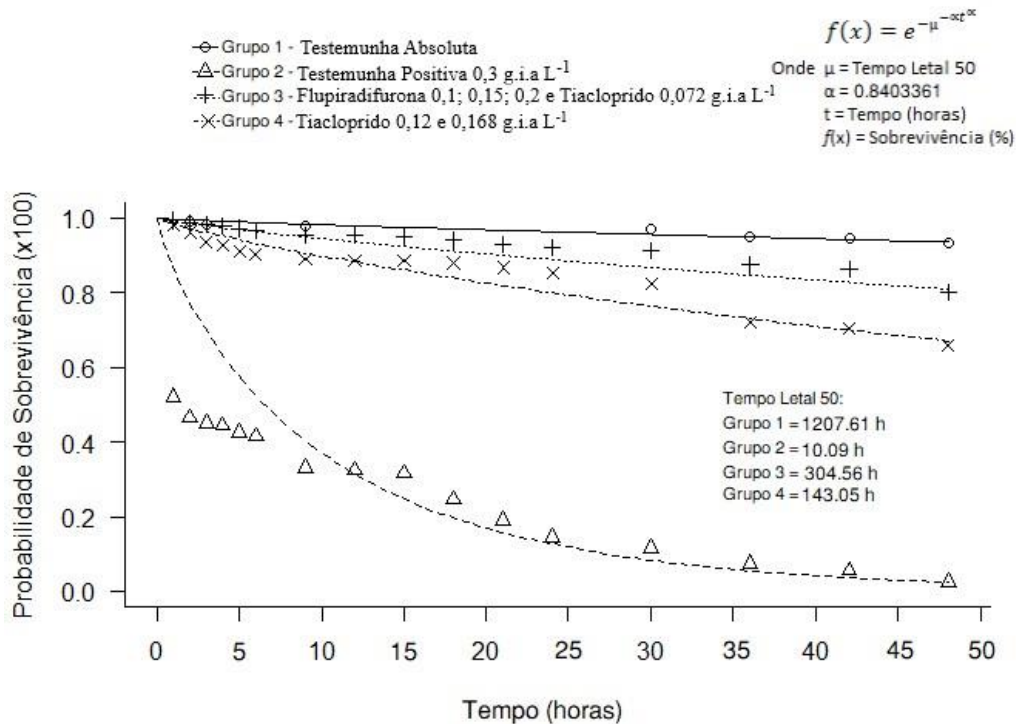


Figura 2. Sobrevivência (%) de *Apis mellifera* após fornecimento de dieta contaminada com diferentes inseticidas, Pombal – PB, 2021.

Fonte: COELHO, D. A., 2021.

4.3 Mortalidade da abelha *Apis mellifera* após exposição aos resíduos dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido

No bioensaio referente ao contato da *A. mellifera* com superfície contaminada com os inseticidas, Flupiradifurona ocasionou elevados índices de mortalidade, nas suas doses 0,1 g.i.a.L⁻¹, 0,15 g.i.a.L⁻¹ e 0,2 g.i.a.L⁻¹ respectivamente, porém, sendo inferior aos resultados obtidos pela testemunha positiva (Tiametoxam), que ocasionou 100% de mortalidade das abelhas. O inseticida Tiacloprido ocasionou mortalidade moderada nas suas doses 0,072 g.i.a.L⁻¹, 0,12 g.i.a.L⁻¹, 0,168 g.i.a.L⁻¹ respectivamente, sobre *A. mellifera*, diferindo estatisticamente dos resultados obtidos pela testemunha positiva (Tabela 2). O inseticida Flupiradifurona foi altamente tóxico nas primeiras horas de exposição. Logo após o contato com a superfície contaminada, cerca de 40% das abelhas apresentaram paralisia e prostração, o restante exibia movimentos lentos, acontecendo a mortalidade ao longo do período de avaliação. As abelhas expostas ao inseticida Tiacloprido apresentaram paralisia nas primeiras horas e posteriormente recuperação da capacidade motora.

Observou-se que a velocidade de mortalidade proporcionada pelos inseticidas Tiacloprido e Flupiradifurona foi inferior a verificada na testemunha positiva. O grupo 4, constituído das três doses do inseticida Tiacloprido (0,072 g.i.a.L⁻¹, 0,12 g.i.a.L⁻¹ e 0,168 g.i.a.L⁻¹) apresentou o maior TL₅₀ (42,19 h) dentre os inseticidas avaliados. O grupo 3 (Flupiradifurona dose 0,1 g.i.a.L⁻¹, 0,15 g.i.a.L⁻¹ e 0,2 g.i.a.L⁻¹), apresentou TL₅₀ de 18,78h (Figura 3).

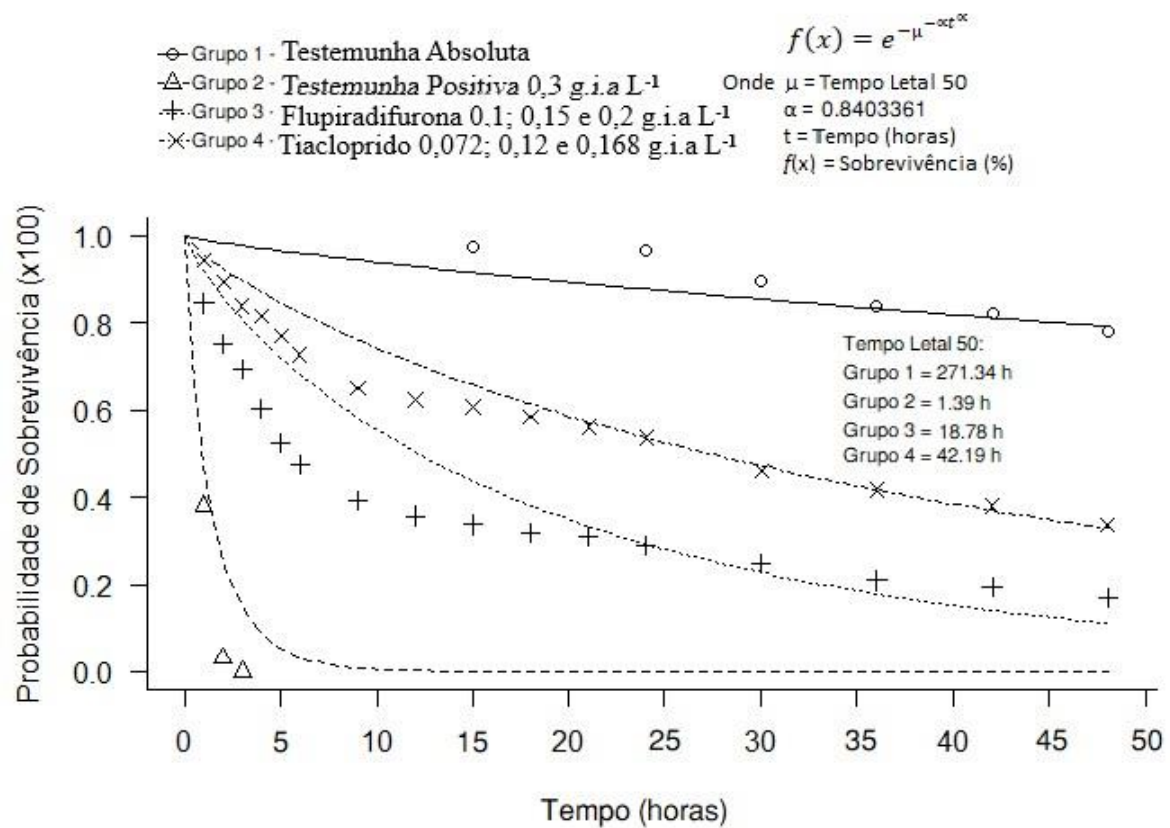


Figura 3. Sobrevivência (%) de *Apis mellifera* após exposição aos resíduos de diferentes inseticidas, Pombal – PB, 2021.

Fonte: COELHO, D. A., 2021.

4.4. Efeito de Flupiradifurona e Tiacloprido na capacidade de voo da abelha *Apis mellifera*

Para o modo de exposição direta aos inseticidas, apenas abelhas da testemunha absoluta e expostas às três doses do Tiacloprido foram avaliadas, haja vista que, nos demais tratamentos não houve sobreviventes. O inseticida Tiacloprido, independente da dose, afetou a capacidade de voo de *A. mellifera*, pois o comportamento observado diferiu das abelhas expostas somente à água destilada. Foi observado que 67%, 69,8% e 83,1% das abelhas expostas às doses 0,072 g.i.a.L⁻¹, 0,12 g.i.a.L⁻¹ e 0,168 g.i.a.L⁻¹ do Tiacloprido, respectivamente, permaneceram na base do túnel de voo somente caminhando. A altura máxima atingida foi de 60 cm e observada apenas na dose 0,072 g.i.a.L⁻¹ (Figura 4).

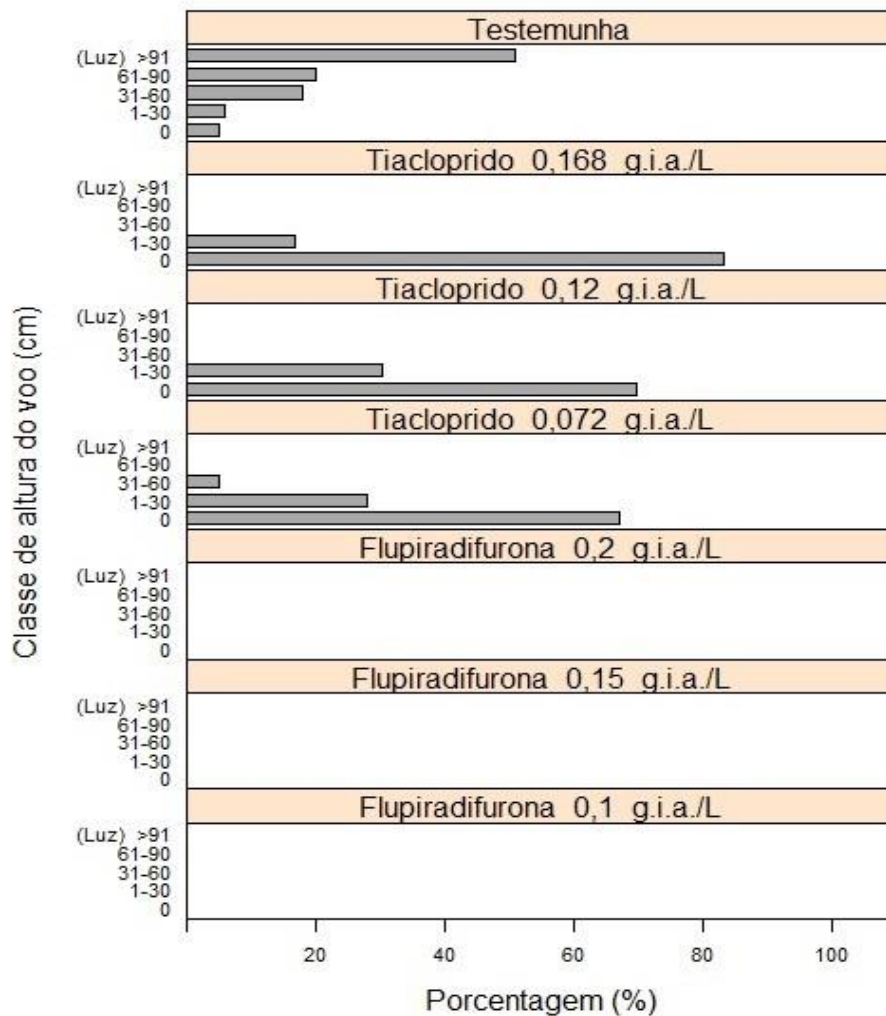


Figura 4. Capacidade de voo (cm) de *Apis mellifera* após exposição por pulverização direta aos inseticidas, 2021.

*Foram utilizadas: 100 abelhas para testemunha absoluta; 100 abelhas para dose 1 do Tiacloprido (0,072 g.i.a.L⁻¹); 86 abelhas para dose 2 do Tiacloprido (0,12 g.i.a.L⁻¹); 83 abelhas para dose 3 do Tiacloprido (0,168 g.i.a.L⁻¹).

Fonte: COELHO, D. A., 2021.

A capacidade de voo das abelhas expostas aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido, após ingestão de dieta contaminada, também foi afetada, pois nenhuma abelha conseguiu atingir o topo do túnel de voo (115 cm). Das abelhas expostas as doses 0,1 g.i.a.L⁻¹, 0,15 g.i.a.L⁻¹ e 0,2 g.i.a.L⁻¹ do Flupiradifurona, 52%, 50% e 52%, respectivamente, permaneceram na base do túnel de voo, com altura máxima atingida de 60 cm apenas na menor dose. Das abelhas expostas as doses 0,072 g.i.a.L⁻¹, 0,12 g.i.a.L⁻¹ e 0,168 g.i.a.L⁻¹ do inseticida Tiacloprido, 47,1%, 48,3% e

63,2% permaneceram na base do túnel de voo caminhando. A altura máxima atingida foi de 30 cm em todas as doses testadas (Figura 5).

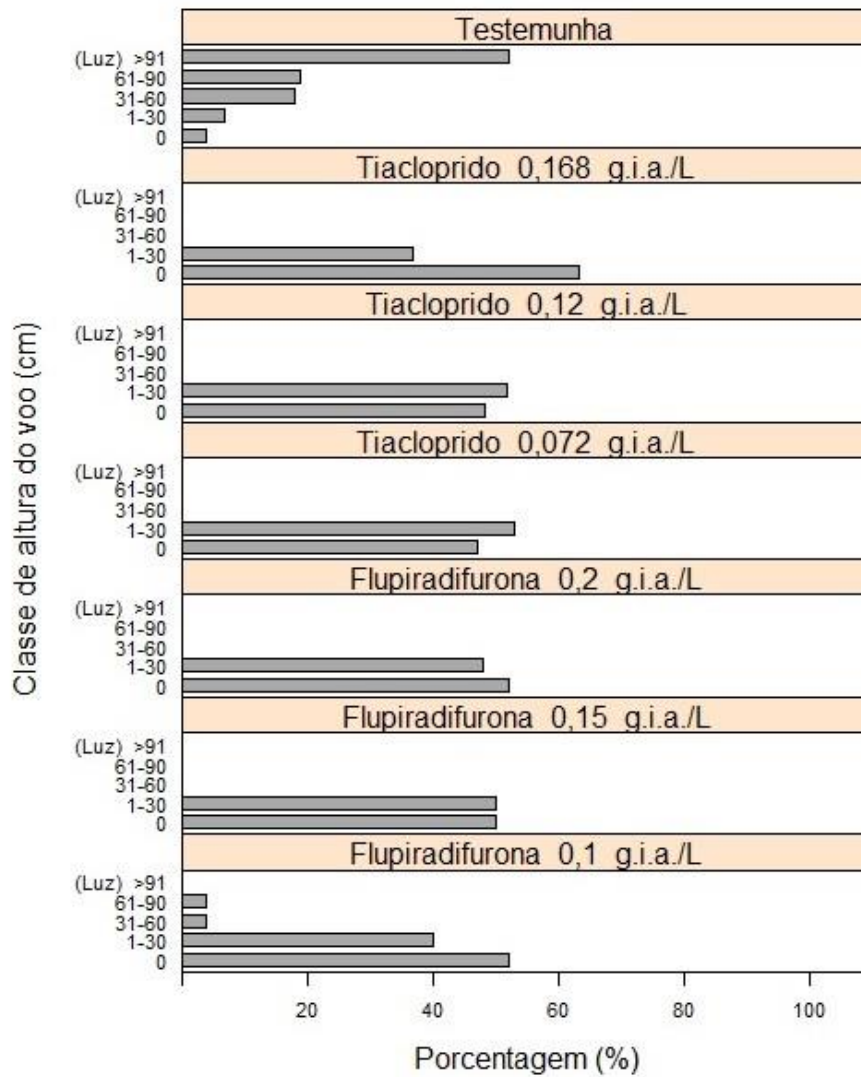


Figura 5. Capacidade de voo (cm) de *Apis mellifera* após exposição por dieta contaminada com os inseticidas.

*Foram utilizadas: 100 abelhas para testemunha absoluta; 68 abelhas para dose 1 do Tiacloprido (0,072 g.i.a.L⁻¹); 60 abelhas para dose 2 do Tiacloprido (0,12 g.i.a.L⁻¹); 57 abelhas para dose 3 do Tiacloprido (0,168 g.i.a.L⁻¹); Para as três doses do Flupiradifurona foram utilizadas 100 abelhas.

Fonte: COELHO, D. A., 2021.

Em relação às abelhas expostas aos resíduos dos inseticidas, também foi observado impacto negativo na capacidade de voo. As abelhas que sobreviveram após exposição aos resíduos de Flupiradifurona, em todas as doses avaliadas, permaneceram na base do túnel de voo apenas caminhando. Para o inseticida Tiacloprido, apesar da maioria das abelhas apenas caminhar na base do túnel, foi observada, especialmente nas abelhas expostas a menor dose do inseticida ($0,072 \text{ g.i.a.L}^{-1}$), o voo até a altura de 30 cm (Figura 6).

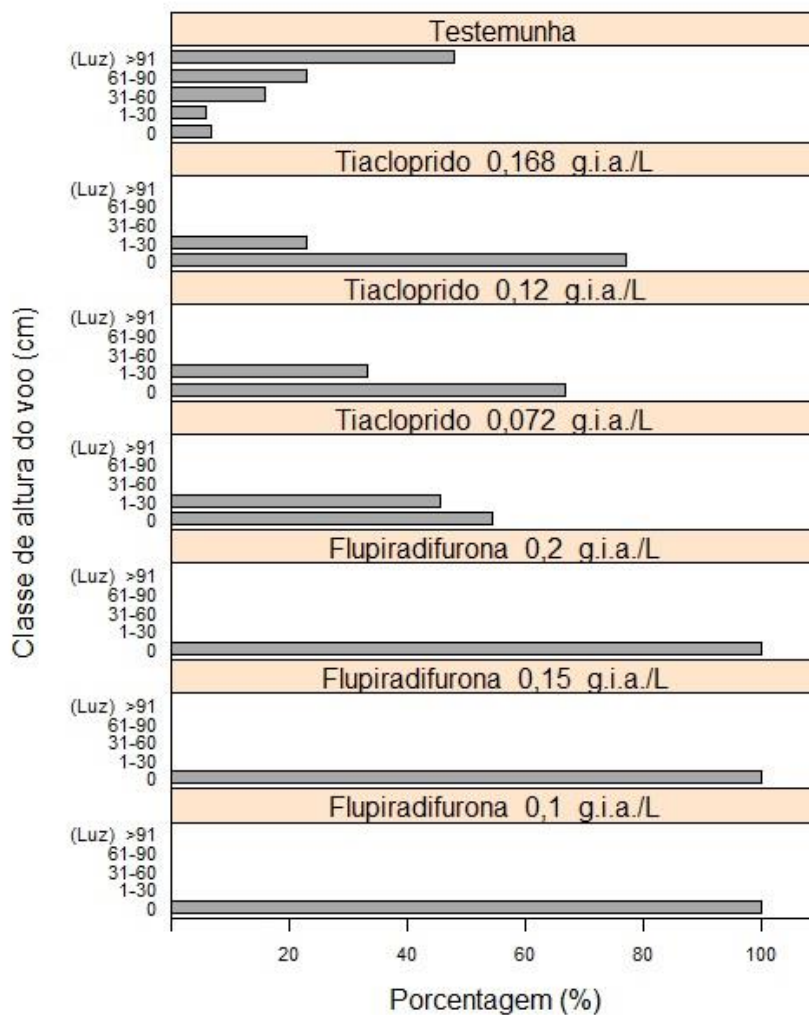


Figura 6. Capacidade de voo (%) de *Apis mellifera* após exposição aos resíduos dos inseticidas, Pombal-PB, 2021.

*Foram utilizadas: 100 abelhas para testemunha absoluta; 70 abelhas para dose 1 do Tiacloprido ($0,072 \text{ g.i.a.L}^{-1}$); 67 abelhas para dose 2 do Tiacloprido ($0,12 \text{ g.i.a.L}^{-1}$); 65 abelhas para dose 3 do Tiacloprido ($0,168 \text{ g.i.a.L}^{-1}$); 6 abelhas para dose 1 do Flupiradifurona ($0,1 \text{ g.i.a.L}^{-1}$); 4

abelhas para dose 2 do Flupiradifurona ($0,15 \text{ g.i.a.L}^{-1}$); 4 abelhas para dose 3 do Flupiradifurona ($0,2 \text{ g.i.a.L}^{-1}$).

Fonte: COELHO, D. A., 2021.

5. DISCUSSÃO

5.1 Mortalidade da abelha *Apis mellifera* após exposição direta aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido

As abelhas expostas diretamente as gotículas de pulverização dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido, tiveram a sobrevivência afetada, sendo notório o aumento da mortalidade das abelhas em função do aumento na concentração do ingrediente ativo. O inseticida Flupiradifurona ocasionou rapidamente a morte de 100% das abelhas independente da dose, sendo tão letal quanto o Tiametoxam (testemunha positiva), produto comprovadamente nocivo para *A. mellifera* (COSTA et al., 2014; PIZZAIA et al., 2021). Além disso, após a exposição ao Flupiradifurona, às operárias adultas de *A. mellifera* apresentaram distúrbios motores (tremores, prostração e paralisia) semelhantes aos observados para o Tiametoxam.

A alta mortalidade das abelhas expostas diretamente ao Flupiradifurona pode ser explicada devido seu efeito agonista com a interação nos receptores de acetilcolina. O efeito dessa molécula nos receptores induz uma corrente iônica que ocasiona uma excitação da célula nervosa, e como o Flupiradifurona não pode ser inativado pela acetilcolinesterase, acaba resultando em uma desordem no sistema nervoso do inseto, ocasionando tremores e paralisias seguidos de morte (JESCHKE, et al. 2015), efeitos observados durante todo o período de avaliação.

Com relação ao inseticida Tiacloprido é importante destacar que foi o menos nocivo a *A. mellifera*, pois apresentou percentual e velocidade de mortalidade inferiores a testemunha positiva (Tiametoxam). Apesar de não haver informações sobre os efeitos que o contato direto com o Tiacloprido pode provocar sobre abelhas, a baixa mortalidade provocada pelo inseticida em relação à testemunha positiva, ambos neonicotinóides, pode estar relacionada com o tempo de metabolização dos ingredientes ativos, pois o Tiacloprido é metabolizado mais rapidamente que o Tiametoxam (ALPTEKIN et al., 2016). Segundo Manjon et al. (2018), enzimas de desintoxicação (P450) podem decompor mais eficientemente e transformar esses inseticidas em compostos menos tóxicos, e os níveis de suscetibilidade de *A. mellifera* aos neonicotinóides dos grupos ciano e nitro estão relacionados não apenas à afinidade dessas moléculas com os receptores nicotínicos de acetilcolina, mas também a alta capacidade das enzimas P450 para

metabolizar o Tiacloprido em compostos menos tóxicos, enquanto que para o Tiametoxam, esse processo de metabolização ocorre de forma ineficiente.

5.2 Mortalidade da abelha *Apis mellifera* após exposição oral aos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido

No bioensaio referente ao modo de exposição do fornecimento de dieta contaminada com os inseticidas, ficou constatada uma baixa toxicidade nas doses do Flupiradifurona quando comparados ao Tiacloprido. Porém, ressalta-se que o Flupiradifurona provocou um efeito repelente sobre as abelhas, sendo observado que as mesmas não buscavam o alimento da mesma maneira que as abelhas expostas ao alimento contaminado pelo Tiacloprido, sendo está a possível causa da baixa mortalidade. Nossos dados corroboram descobertas anteriores de que o Flupiradifurona demonstra efeito de repelência sobre *A. mellifera* Wu et al. (2020).

Segundo Nauen et al. (2015), o Flupiradifurona é tóxico para as abelhas via exposição oral (DL_{50} 1,2 ng ia / abelha), demonstrando baixa toxicidade para as abelhas adultas via exposição de contato (DL_{50} 0,1 ng ia / abelha), sugerindo que a ingestão de resíduos é a principal via de contaminação, porém, o inseticida demonstrou um forte efeito de repelência. Tong et al. (2019), testando o efeito da exposição de operárias adultas de *A. mellifera* ao inseticida Flupiradifurona via dieta contaminada (4 ppm, dose diária = 241 ± 4 ng / abelha) combinado ao estresse nutricional (alimento com baixa concentração de açúcar), identificaram uma redução na sobrevivência, na busca pelo alimento, na termorregulação e na capacidade de voo das abelhas.

Hesselbach; Scheiner, (2018) constataram que o efeito do Flupiradifurona na responsividade gustativa de operárias de *A. mellifera* tratadas na concentração de $8,3 \cdot 10^{-4}$ mol / l é demonstrado por uma redução significativa na resposta de extensão da probóscide, apresentando uma busca significativamente menor do que as abelhas do tratamento controle, além disso, foi observada uma procura menor pela alimentação dos indivíduos expostos ao Flupiradifurona, induzindo que o mesmo exerce o forte efeito repelente sobre *A. mellifera*. Al Naggari; Baer. (2019), identificaram que a exposição na fase larval de *A. mellifera* via dieta contaminada com o inseticida Flupiradifurona na dose 0,025 µg, ocasionou uma redução na sobrevivência ($7\% \pm 2\%$), resultados também encontrados quando operárias adultas foram expostas a dose 0,645 µg. Os referidos autores também identificaram uma potencialização no efeito do inseticida quando as abelhas em sua fase larval e operárias adultas estavam contaminadas pelo fungo *Nosema ceranae*. Tosi et al. (2021), estudando os impactos letais e

subletais do Flupiradifurona sobre *A. mellifera* quando fornecidos via dieta contaminada (444, 1333, 4000, 12000 e 36000 $\mu\text{g} / \text{kg}$ de solução de sacarose) observaram redução significativa da sobrevivência das abelhas, distúrbios motores nos insetos como déficit na coordenação motora e hiperatividade, além de redução na busca por alimento e redução no sucesso do voo das abelhas.

O inseticida Tiacloprido foi mais nocivo sobre operárias adultas de *A. mellifera* quando fornecidos via dieta contaminada, apresentando percentual de sobrevivência menor e percentual de mortalidade superiores ao inseticida Flupiradifurona. Bommuraj et al. (2020), testando a média de consumo diário de indivíduos da espécie *A. mellifera* sobre efeito de dieta contaminada com diferentes inseticidas, constataram que não houve diferença significativa na busca pela dieta contaminada com o inseticida Tiacloprido, em relação ao grupo controle, comprovando que o Tiacloprido não desempenha efeito de repelência nos indivíduos, e esta informação obtida pelos autores corroboram os resultados de mortalidade superiores aos do inseticida Flupiradifurona neste modo de exposição.

Jacob et al. (2019), identificaram que a abelha *A. mellifera* quando tratada oralmente com os inseticidas Acetamiprido, Imidacloprido e Tiacloprido, demonstravam impactos na sobrevivência e na capacidade de locomoção, com toxicidade mediana para o inseticida Tiacloprido, ocasionando uma redução na velocidade de movimentação, elevados períodos de repouso, além de tremores.

Brandt et al. (2017) identificando os impactos da exposição de rainhas e operárias de abelhas *A. mellifera* aos inseticidas Tiacloprido e Clotianidina via ingestão de dieta contaminada (100 ou 200 $\mu\text{g} / \text{L}$ para Tiacloprido e 10, 50 ou 200 $\mu\text{g} / \text{L}$ para Clotianidina), observaram que o Tiacloprido não foi letal sobre as rainhas e operárias, mas ocasionou uma redução nos hemócitos totais e na melanização, como também na atividade antimicrobiana. Esses resultados diferem dos resultados encontrados nesta pesquisa, possivelmente pela diferença no preparo da solução contaminada como também pela diferença na dose utilizada, sendo utilizadas doses inferiores as doses em estudo.

5.3 Mortalidade da abelha *Apis mellifera* após exposição aos resíduos dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido

O contato com a superfície contaminada por Flupiradifurona foi tóxico para operárias adultas de *A. mellifera*. Após as primeiras horas de contato com a superfície contaminada, cerca de 50% das abelhas expostas apresentaram distúrbios motores, como paralisia e prostração,

seguido de morte. Os resultados obtidos neste bioensaio foram semelhantes aos relatados por Guo et al. (2021), que buscaram identificar os efeitos da concentração realista de campo (4,0 ppm) do Flupiradifurona sobre *A. mellifera*. Os referidos autores encontraram uma diminuição significativa na taxa de sobrevivência das abelhas expostas ao Flupiradifurona via superfície contaminada, quando comparados aos tratamentos controle.

O inseticida Tiacloprido ocasionou toxicidade moderada sobre as abelhas, com percentual de mortalidade acima dos resultados obtidos nos outros modos de exposição (pulverização direta e dieta contaminada). Além do efeito letal, foi identificado um déficit na atividade locomotora dos insetos, porém, mesmo causando hiperexcitabilidade, esses efeitos foram observados em menor proporção, quando comparados ao tratamento testemunha positiva, o que pode estar relacionado com o tempo de metabolização dos princípios ativos, onde o Tiacloprido é metabolizado mais rapidamente que o Tiametoxam (ALPTEKIN et al., 2016). São escassos os dados referentes a mortalidade e comportamento de *A. mellifera* sobre efeito residual dos inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido, porém, diversos autores alertam para os impactos que este modo de exposição pode ocasionar nas abelhas, enfatizando a necessidade de pesquisas com o tema (XAVIER et al., 2015; RATNAKAR et al., 2017; POZEBON; ARNEMANN, 2021).

5.4. Efeito de Flupiradifurona e Tiacloprido na capacidade de voo da abelha

Apis mellifera

Os inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido, independente da dose avaliada e modo de exposição, afetaram a capacidade de voo da abelha *A. mellifera*, ou seja, proporcionaram perda na capacidade motora do inseto. Mesmo com vários pesquisadores alertando sobre a importância de avaliar os efeitos da exposição a inseticidas sobre a capacidade de voo das abelhas (FERNANDEZ, et al., 2012; HENRY et al., 2012; OLIVEIRA, et al., 2014; CHARRETON et al., 2015; GOMES et al., 2020), ainda são escassos resultados com Flupiradifurona e Tiacloprido.

O inseticida Flupiradifurona, foi o inseticida mais nocivo à capacidade de voo de *A. mellifera* no presente estudo, sendo observado o maior impacto no modo de exposição residual, pois 100% das abelhas não conseguiram realizar o voo, permanecendo andando na base do túnel. Wu et al. (2020), testando se o consumo de néctar (solução de sacarose) com concentração de 4 ppm de Flupiradifurona poderia alterar o comportamento de forrageamento e a dança de recrutamento em *A. mellifera*, observaram que as abelhas foram repelidas pelo

Flupiradifurona, visitando o alimentador com menor frequência e gastando menos tempo embecendo a solução de sacarose, também foi observado que o Flupiradifurona alterou significativamente a expressão de 116 genes que podem ser relevantes para os déficits de aprendizagem olfatória, além de ter sido constatado uma redução das habilidades motoras dos insetos, prejudicando a sua capacidade de voo.

O Tiacloprido, apesar de menos nocivo às abelhas, também provocou comprometimento da capacidade de voo, pois nenhuma abelha, independente da dose e modo de exposição, conseguiu atingir o topo do túnel de voo, o que pode ocasionar um déficit em suas atividades de forrageamento. Fischer et al. (2014), demonstraram que em situação de campo, as abelhas *A. mellifera* expostas oralmente ao Tiacloprido não apresentaram perdas significativas no desempenho do voo de forrageamento, completando suas atividades, entretanto, apresentaram uma redução na velocidade de voo e na taxa de retorno com sucesso para as colônias.

Jacob et al. (2019), avaliaram os impactos de três inseticidas neonicotinóides (Acetamiprido, Imidacloprido e Tiacloprido) na sobrevivência e na capacidade de locomoção das abelhas africanizadas *A. mellifera* e da abelha sem ferrão *Scaptotrigona postica*, sendo observado uma suscetibilidade maior de *A. mellifera* a todos os neonicotinóides testados, com toxicidade mediana para o Tiacloprido, ocasionando uma redução na velocidade de movimentação, elevados períodos de repouso, além de tremores.

Os resultados obtidos neste trabalho são essenciais para compreensão de como os inseticidas Flupiradifurona e Tiacloprido podem interferir na capacidade de voo das abelhas, atividade extremamente importante para sobrevivência dos insetos e para polinização. A capacidade de forrageio das abelhas está diretamente ligada à manutenção, organização e sobrevivência de toda a colônia, pois é com o forrageio que acontece o processo de polinização, como também o transporte de recursos alimentares para a colmeia, além de ser durante o forrageio que as abelhas necessitam da integridade de suas capacidades cognitivas relacionadas à memória, que lhes permite orientação através de informações ambientais adquiridas anteriormente para localização e reconhecimento de recursos como alimento e posteriormente retorno para colônia (BALBUENA et al., 2015).

Esses são os primeiros resultados sobre a toxicidade e impacto dos inseticidas Tiacloprido e Flupiradifurona, nas doses registradas para uso no Brasil e em diferentes modos de exposição, sobre a abelha *A. mellifera*, um dos mais importantes polinizadores em áreas agrícolas do mundo. Os resultados obtidos irão nortear ações voltadas à conservação e preservação das abelhas e subsidiar novas pesquisas visando o manejo sustentável de *A. mellifera* nas lavouras.

6. CONCLUSÕES

- Independente da dose utilizada, o inseticida Flupiradifurona foi altamente tóxico para operárias adultas da abelha *A. mellifera* via pulverização direta e contato com superfície contaminada com resíduos dos produtos, sendo pouco tóxico via ingestão de dieta contaminada com o inseticida.
- O inseticida Tiacloprido foi pouco tóxico para operárias adultas de *A. mellifera* quando fornecido via dieta contaminada, causando índices médios de mortalidade nos modos de exposição pulverização direta e contato com superfície contaminada com resíduos do inseticida.
- A capacidade de voo da abelha *A. mellifera* foi afetada pelos inseticidas avaliados, especialmente após exposição ao Flupiradifurona, independente da dose e modo de exposição.

7. Referências Bibliográficas

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 1, p. 265-267, 1925.
- ALMUSSA, A.; SCHMIDT, M.L.G. O contato com agrotóxicos e os possíveis agravos à saúde de trabalhadores rurais. **Revista de Psicologia da UNESP**, v. 8, n. 2, p. 5-5, 2018.
- AL NAGGAR, Y.; BAER, B. Consequences of a short time exposure to a sublethal dose of Flupyradifurone (Sivanto) pesticide early in life on survival and immunity in the honeybee (*Apis mellifera*). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1 – 11, 2019.
- ALPTEKIN S.; BASS C.; NICHOLLS C.; PAINE M.J.; CLARK S.J.; FIELD L.; MOORES G. D. Induced thiacloprid insensitivity in honeybees (*Apis mellifera* L.) is associated with up-regulation of detoxification genes. **Insect Molecular Biology**. v. 25, n.2, p. 171–180, 2016.
- AIZEN M.A.; GARIBALDI L.A.; CUNNINGHAM S.A.; KLEIN A.M. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 9, p. 1579-1588, 2009.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2014**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 104, 2015.
- ASCHER, J. S.; PICKERING, J. Apoidea species. **Discover Life Electronic Catalogue**. Disponível em: http://www.discoverlife.org/mp/20q?guide=Apoidea_species, 2017.
- BALBUENA, M.S.; TISON, L.; HAHN, M.L.; GREGGERS, U.; MENZEL, R.; FARINA, W.M. Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. **The Journal of Experimental Biology**. v. 218, n. 1, p. 2799-2805, 2015.
- BOMMURAJ, V; CHEN, Y.; BIRENBOIM, M.; BAREL, S.; SHIMSHONI, J. A. Concentration and time dependent toxicity of commonly encountered pesticides and pesticide mixtures to honeybees (*Apis mellifera* L.). **Chemosphere**, v. 266, n. 1, p. 43 - 54 2020.
- BRANDT, A., GORENFLO, A., SEIDE, R., MEIXNER, M., BÜCHLER, R. The neonicotinoids thiacloprid, imidacloprid, and clothianidin affect the immunocompetence of honey bees (*Apis mellifera* L.). **Journal of Insect Physiology** v. 86, n. 1, p. 40-47, 2016.

- BRANDT, A.; GRIKSCHKEIT, K.; SIEDE, R.; GROSSE, R.; MEIXNER, M. D.; BUCHLER, R. Immunosuppression in Honeybee Queens by the Neonicotinoids Thiacloprid and Clothianidin. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1 – 12, 2017.
- BRIDI, R.; LARENA, A.; PIZARRO, P. N.; GIORDANO, A.; MONTENEGRO, G. Analysis of neonicotinoid insecticides: Residue findings in Chilean honeys. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n.1, p. 51-57, 2018.
- BRITTAIN, C.; POTTS, S. G. The potential impacts of insecticides on the life-history traits of bees and the consequences for pollination. **Basic and Applied Ecology**, v.12, n. 4, p.321-331. 2011.
- CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. Dossiê ABRASCO: **Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venêncio, 2015.
- CARSON, R.L. **Silent spring**. Boston: Houghton Mifflin Company, 368 p. 1962.
- CASSAL, V. B.; AZEVEDO, L. F.; FERREIRA, R. P.; SILVA, D. G.; SIMÃO, R. S. Agrotóxicos: uma revisão de suas consequências para a saúde pública. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 1, n. 1, p.437- 445, 2014.
- CASTILHOS, D.; BERGAMO, G. C.; GRAMACHO, K. P.; GONÇALVES L. S. Bee Colony losses in Brazil: a 5-year online survey. **Apidologie**, v.50, n. 3, p. 263-272, 2019.
- CATAE, A.F.; ROAT, T.C.; OLIVEIRA, R.A.; NOCELLI, R.C.F.; MALASPINA, O. Cytotoxic Effects of Thiamethoxam in the Midgut and Malpighian Tubules of Africanized *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Microscopy Research and Technique**, v. 77, n. 1, p. 274–281, 2014.
- CHAGAS, I. D. **Os Impactos dos Agroquímicos Sobre o Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.brasilecola.com.br> Acesso em: 29 de março de 2021.
- CONTIERO, M.; ACHTERBERG, F. Foreword by Greenpeace. IN: WOOD, T.; GOULSON, D. **The environmental risks of neonicotinoids pesticides: a review of the evidence post-2013**. Paris: Greenpeace France, v. 5, n. 1, p. 87, 2017.
- COSTA, E. M.; ARAUJO, E. L.; MAIA, A. V. P.; SILVA, F. E. L.; BEZERRA, C. E. S.; SILVA, J. G. Toxicity of insecticides used in the Brazilian melon crop to the honey bee *Apis mellifera* under laboratory conditions. **Apidologie**, v. 45, n. 1, p. 34-44, 2014.

CRIDLAND, J. M.; TSUTSUI, N. D.; RAMÍREZ, S. R. The complex demographic history and evolutionary origin of the western honey bee, *Apis mellifera*. **Genome Biology and Evolution**, v. 09, n. 2, p. 457, 2017.

DECOURTYE, A.; DEVILLERS, J.; CLUZEAU, S.; CHARRETON, M.; PHAM-DELÈGUE, M. Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v. 57, n. 3, p. 410-419, 2004.

DEVINE, G.J.; FURLONG, M.J. Insecticide use: contexts and ecological consequences. **Agriculture and Human Values**, v.24, n. 3, p.281-306, 2007.

DEVILLERS, J. Acute toxicity of pesticides to honey bees. **Honey bees: Estimating the environmental impact of chemicals**, Taylor & Francis: London, v. 79, n 9, p.56-66, 2002.

DURO, P. N. **Desenvolvimento de métodos eletroquímicos para quantificação de pesticidas neonicotinoides em amostras de água contaminadas**. Portugal, 2013.

DWORZAŃSKA, D.; MOORES, G.; ZAMOJSKA, J.; STRAZYNSKI, P.; WEGOREK, P. The influence of acetamiprid and deltamethrin on the mortality and behaviour of honeybees (*Apis mellifera* Carnica Pollman) in oilseed rape cultivations. **Apidologie**, v. 51, n. 1, p. 1143–1154, 2020.

EL-MASARAWY, M. S.; EL-BLENDARY, H. M.; EL-HELALY, A. M. A. The effect of using imidacloprid and chlorpyrifos and their nanoforms on certain characteristics of honeybee *Apis mellifera* L. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, n. 1, p. 1037 – 1042, 2021.

FAIRBROTHER A.; PURDY, J.; ANDERSON T.; FELL, R. Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. **Environmental Toxicology Chemistry**, v. 33, n 1, p. 719–731, 2014.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <HTTPS://www.fao.org>, Acesso em: 03 jul, 2021.

FENT, K.; SCHMID, M.; HETTICH, T.; SCHMID, S. The neonicotinoid thiacloprid causes transcriptional alteration of genes associated with mitochondria at environmental concentrations in honey bees. **Environmental Pollution**, v. 266, n. 1, p. 78 - 89, 2020.

- FERNANDEZ, F. C.; CRUZ-LANDIM, C.; MALASPINA, O. Influence of the insecticide pyriproxyfen on the flight muscle differentiation of *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). **Microscopy Research Technique**, v. 75, n. 6, p. 844 – 848, 2012.
- FISCHER, J.; MÜLLER, T.; SPATZ, A-K.; GREGGERS, U.; GRÜNEVALD, B.; MENZEL, R. Neonicotinoids interfere with specific components of navigation in honeybees. **Plos One**, v. 9, n. 3, p. 1-10. 2014.
- FONSECA, P. R. B.; BERTONCELLO, T. F.; RIBEIRO, J. F.; FERNANDES, M. G.; DEGRANDE, P. R. Seletividade de inseticidas aos inimigos naturais ocorrentes sobre o solo cultivado com algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.4, p.304-309, 2008.
- FORFERT, N.; MORITZ, R. F. A. Thiacloprid alters social interactions among honey bee workers (*Apis mellifera*). **Journal of Apicultural Research**, v. 56, n. 4, p. 467-474. 2017.
- FREITAS, B. M.; BOMFIM, I.G.A. A necessidade de uma convivência harmônica da agricultura com os polinizadores. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar. Brasília, 2017.
- FREITAS B. M.; PINHEIRO, J. N. Efeitos subletais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 282-298, 2010.
- GALLAI, N.; SALLES, J.; SETTELE, J.; VAISSIÈRE, B. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 810-821, 2009.
- GIANNINI, T. C.; FREITAS, B.M.; SARAIVA, A.M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. The Dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**. v.108, n. 3, p. 849-857, 2015.
- GIANNINI, T. C.; GARIBALDI, L. A.; ACOSTA, A. L.; SILVA, J. S.; MAIA, K. P.; SARAIVA, A. M.; KLEINERT, A. M. Native and non-native supergeneralist bee species have different effects on plant-bee networks. **PloS One**, San Francisco, v. 10, n. 9, p. 1 - 14, 2015.
- GOMES, I. N.; VIEIRA, K. I. C.; GONTIJO, L. M.; RESENDE, H. C. Honeybee survival and flight capacity are compromised by insecticides used for controlling melon pests in Brazil. **Ecotoxicology**, v. 29, n. 1, p. 97 – 107, 2020.

GOULSON, D; NICHOLLS, E; BOTÍAS, C; ROTHERAY, E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. **Science**, v. 347, n. 1, p. 1-7, 2015.

GUEZ, D.; ZHANG, S. W.; SRINIVASAN, M. V. Methyl parathion modifies foraging behaviour in honeybees (*Apis mellifera*). **Ecotoxicology**, Dordrecht, v. 14, n. 4, p. 431-437, 2005.

GUO, Y.; DIAO, Q.-Y.; DAI, P.-L.; WANG, Q.; HOU, C.-S.; LIU, Y.-J.; ZHANG, L.; LUO, Q.-H.; WU, Y.-Y.; GAO, J. The Effects of Exposure to Flupyradifurone on Survival, Development, and Foraging Activity of Honey Bees (*Apis mellifera* L.) under Field Conditions. **Insects**, v. 12, n. 4, p. 357, 2021.

HAYNES, K. F. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 149-168, 1988.

HENRY, M.; BÉGUIN, M.; REQUIER, F.; ROLLIN, O.; ODOUX, J. F.; AUPINEL, P.; APTEL, J.; TCHAMITCHIAN, S.; DECOURTYE, A. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. **Science**, v. 336, n. 1, p. 348-350, 2012.

HESSELBACH, H.; SCHEINER, R. Effects of the novel pesticide flupyradifurone (Sivanto) on the cognition and flavour das abelhas. **Scientific Rreports**, v. 8, n. 1, p. 49-54, 2018.

IBGE - **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Censo Agropecuário. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 out. 2018.

JACOB, C. R. O.; MALAQUIAS, J. B.; ZANARDI, O. Z.; SILVA, C. A. S.; JACOB, J. F. O.; YAMAMOTO, P. T. Oral acute toxicity and impact of neonicotinoids on *Apis mellifera* L. and *Scaptotrigona postica* Latreille (Hymenoptera: Apidae). **Ecotoxicology**, v. 28, n. 7, p. 744 – 753, 2019.

JESCHKE, P; NAUEN, R. **Nervous system: nicotinic acetylcholine receptor agonists: target and selectivity aspects, in Modern Crop Protection**, Germany, v. 2, n. 3, p. 1127-1165, 2012.

JESCHKE, P.; NAUEN, R.; SCHINDLER, M.; ELBERT, A. Overview of the status and global strategy for neonicotinoids. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 59, n. 7, p. 2897-2908, 2011.

- JESCHKE, P.; NAUEN, R.; GUTBROD, O.; BECK, M. E.; MATTHIESEN, S.; HAAS, M.; VELTEN, R. Flupyradifurone (Sivanto™) and its novel butenolide pharmacophore: structural considerations. **Pesticide Biochemistry. Physiology**, v. 121, n. 1, p. 31 – 38, 2015.
- KEARNS, C.A.; INOUE, D.W. Pollinators, flowering plants and conservation biology. **BioScience**, v.47, n. 1, p.297-307, 1997.
- KLEIN, A. M.; FREITAS, B. M.; BOMFIM, G. A.; BOREUX, V.; FORNOFF, F.; OLIVEIRA, M. O. A. **Polinização Agrícola por Insetos no Brasil**. Maranguape, Unifreiburg. 2020.
- KRUPKE, C. H.; HUNT, G. J.; EITZER, B. D.; ANDINO G.; GIVEN, K. Multiple Routes of Pesticide Exposure for Honey Bees Living Near Agricultural Fields. **Plos One**, São Francisco/EUA, v. 7, n. 1, e29268, 2012.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 1, p. 583-621, 1952.
- LEVER, J. J.; VAN NES, E.H.; SCHEFFER, M.; BASCOMPTE, J. The sudden collapse of pollinator communities. **Ecology Letters**, v. 17, n. 1, p. 350–359, 2014.
- LOURENÇO, C. T.; CARVALHO, S. M.; MALASPINA, O.; NOCELLI, R. C. F. Determination of fipronil LD50 for the brazilian bee *Melipona scutellaris*. **Julius-Kühn-Archiv**, v. 437, n. 1, p.174-178, 2012.
- MACIEL, F. A. O. Reconhecimento de padrões sazonais em colônias de abelhas *Apis mellifera* via clusterização. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v.10, n.3, p. 74–88, 2018.
- MANJON C.; TROCZKA B.J.; ZAWORRA M.; BEADLE K.; RANDALL E.; HERTLEIN G.; SINGH K.S.; ZIMMER C.T.; HOMEM R.A.; LUEKE B.; REID R.; KOR L.; KOHLER M.; BENTING J.; WILLIAMSON M.S.; DAVIES T.G.E.; FIELD L.M.; BASS C.; NAUEN R. Unravelling the molecular determinants of bee sensitivity to neonicotinoid insecticides. **Current Biology**, v. 27, n. 7, p. 1137–1143, 2018.
- MANZIN, C.; VERGARA-ARMADO, J.; FRANCO, L. M.; SILVA, A. X. The effect of temperature on candidate gene expression in the brain of honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) workers exposed to neonicotinoid imidacloprid. **Science Direct**, v. 93, n. 1, p. 121 – 140, 2020.
- MELO, B.; SOUSA, L. B. Biology of reproduction *Coffea arábica* L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 1-7, 2011.

- MILFONT, M.; ROCHA, E. E. M.; LIMA, A. O. N.; FREITAS, B. M. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopollination. **Environmental Chemistry Letters**, v. 11, n. 4, p. 335–341, 2013.
- MIOTELO, L.; REIS, A. L. M.; MALAQUIAS, J. B.; MALASPINA, O.; ROAT, T. C. *Apis mellifera* and *Melipona scutellaris* exhibit differential sensitivity to thiamethoxam. **Science Direct**, v. 268, n. 1, p. 103 – 109, 2021.
- MORAES, S. S.; BAUTISTA, A. R. L.; VIANA, B. F. Avaliação da Toxicidade Aguda (DL₅₀ e CL₅₀) de Inseticidas para *Scaptotrigona tubiba* (Smith) (Hymenoptera: Apidae): via de contato. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 31-37, 2000.
- MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides and human chronic diseases: evidences, mechanisms, and perspectives. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 268, n. 1, p. 157-177, 2013.
- NATIONAL AGRICULTURAL STATISTICS SERVICE**. Disponível em: <https://www.nass.usda.gov>. Acesso em: 10 nov. 2009.
- NAUEN, R.; JESCHKE, P.; VELTEN, R.; BECK, M. E.; EBBINGHAUS-KINTSCHER, U.; THIELERT, W.; WOLFEL, K.; HAAS, M.; KUNZ, K.; RAUPACH, G. Flupyradifurone: A brief profile of a new butenolide insecticide. **Pest Management Science**, v. 71, n. 6, p. 850–862, 2015.
- NICHOLLS, E.; FOWLER, R.; NIVEN, J. E.; GILBERT, J. D.; GOULSON, D. Larval exposure to field-realistic concentrations of clothianidin has no effect on development rate, overwinter survival or adult metabolic rate in a solitary bee, *Osmia bicornis*. **PeerJ**, v. 5, n. 1, p. 47 – 54, 2017.
- OLIVEIRA, M. O. Declínio populacional das abelhas polinizadoras de culturas agrícolas. **ACTA Apicola Brasilica**, v. 3, n. 2, p. 01-06, 2015.
- OLIVEIRA, R. A.; ROAT, T. C.; CARVALHO, S. M.; MALASPINA, O. Side-effects of thiamethoxam on the brain and midgut of the Africanized honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Environmental Toxicology**, New York, v. 29, n. 10, p. 1122-1133, 2014.

OLIVER, C. J.; SOFTLEY, S.; WILLIAMSON, S. M.; STEVENSON, P. C.; WRIGHT, G. A. Pyrethroids and nectar toxins have subtle effects on the motor function, grooming and wing fanning behaviour of honeybees (*Apis mellifera*). **Plos One**, San Francisco, v.10, n.8, p. 1-12, 2015.

PANIZZI, A. R. **Importância histórica e perspectivas do Manejo Integrado de Pragas (MIP) em soja**. The Pesticide Conspiracy. New York, P. 212, 1978.

PAUDEL, Y. P., MACKERETH, R., HANLEY, R., & QIN, W. Honey Bees (*Apis mellifera* L.) and Pollination Issues: Current status, impacts and potential drivers of decline. **Journal of Agricultural Science**, v. 7, n. 6, p. 93, 2015.

PHAM-DELÈGUE, M. H.; DECOURTYE, A.; KAISER, L.; DEVILLERS, J. Behavioural methods to assess the effects of pesticides on honey bees. **Apidologie**, Les Ulis, v. 33, n. 5, p. 425-432, 2002.

PIZZAIA, W. C. S.; PEREIRA, N. C.; DINIZ, T. O.; TOLEDO, V. A. A.; RUVOLOTAKASUSUKI, M. C. C. *Apis mellifera* africanized queens tolerant to the neonicotinoid thiamethoxam. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 2, p. 35 - 42, 2021.

PIRES, C. S. S.; PEREIRA, F. M.; LOPES, M. T. R.; NOCELLI, R. C. F.; MALASPINA, O.; PETTIS, J. S.; TEIXEIRA, E. W. Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD?. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol.51, n. 5, p. 422-442, 2016.

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

POTTS, S. G.; ROBERTS, S. P. M.; DEAN, R.; MARRIS, G.; BROWN, M. A.; JONES, R.; NEUMANN, P.; SETTELE, J. Declines of managed honeybees and beekeepers in Europe. **Journal of Apicultural Research**, Cardiff, v. 49, n. 1, p. 15–22, 2016.

POZEBON, H.; ARNEMANN, J. A. Como funcionam os inibidores da acetil CoA e os inibidores de crescimento de ácaros? **Portal Mais Soja**. 2021.

RATNAKAR, V; KOTESWARA RAO, K. S. R; SRIDEVI, D; VIDYASAGAR, B. Sublethal Lethal exposure of certain newer insecticides molecules to honeybee, *Apis mellifera* Linnaeus. **International Journal Of Pure & Applied Bioscience**, v. 5, n. 4, p. 641-646, 2017.

- RAUPACH, G. S. M. T. ALMANZA, HAAS, M.; TAPIA, E.; THIELERT, W.; NAUEN, R.; Sivanto™ 471 – Profile of a new insecticide from Bayer CropScience AG, 60th **Annual Meeting of the Entomological Society of America**, Knoxville, v. 14, n. 1, p. 147 – 159, 2012.
- RAYMANN, K.; MOTTA, E. V. S.; GIRARD, C.; RIDDINGTON, I. M.; DINSEER, J. A.; MORAN, N. A. Imidacloprid decreases honey bee survival rates but does not affect the gut microbiome. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 84, n. 13, p. 1-13, 2018.
- ROSSI, C. A., ROAT, T. C., TAVARES, D. A., CINTRA-SOCOLOWSKI, P., MALASPINA, O. Effects of sublethal doses of imidacloprid in malpighian tubules of africanized *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). **Microscopy Research and Technique**, v. 76, n. 5, p. 552-558, 2013.
- SERRA, R. S.; COSSOLIN, J. F. S.; RESENDE, M. T. C. S.; CASTRO, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; MATÍNEZ, L. C.; SERRÃO, J. E. Spiromesifen induces histopathological and cytotoxic changes in the midgut of the honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Chemosphere**, v. 270, n. 1, p. 129439, 2021.
- SHI, T.; BURTON, S.; WANG, Y.; XU, S.; ZHANG, W.; YU, L. Metabolomic analysis of honey bee, *Apis mellifera* L. response to thiacloprid. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 152, n. 1, p. 17 – 23, 2018.
- SHI, J.; YANG, H.; YU, L.; LIAO, C.; LIU, Y.; JIN, M.; YAN, W.; WU, X. B. Sublethal acetamiprid doses negatively affect the lifespans and foraging behaviors of honey bee (*Apis mellifera* L.) workers. **Science of The Total Environment**, v. 738, n. 1, p. 170 – 179, 2020.
- SHI, J.; ZHANG, R.; PEI, Y.; LIAO, C.; WU, X. Exposure to acetamiprid influences the development and survival ability of worker bees (*Apis mellifera* L.) from larvae to adults. **Environmental Pollution**, v. 266, n. 2, p. 94 – 102, 2020.
- SILVA, M.B. **Avaliação dos efeitos do inseticida imidacloprido sobre o comportamento das abelhas sem ferrão *Scaptotrigona postica***. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, p. 48, 2014.
- SILVA, B. K. D. A.; GODOY, M. S. D.; LIMA, A. G. D.; OLIVEIRA, A. K. S. D. Toxicity of insecticides used in muskmelon on first-instar larvae of *Chrysoperla genanigra* (Neuroptera: Chrysopidae). **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 662-669, 2017.

SIMON-DELISO, N.; MARTIN, G. S.; BRUNEAU, E.; MINSART, L. A.; MOURET, C.; HAUTIER, L. Honeybee colony disorder in crop areas: The role of pesticides and viruses. **Plos One**, v. 9, n. 7, p. 1–16, 2014.

SMAGGHE, G.; DEKNOPPER, J.; MEEUS, I.; MOMMAERTS, V. Dietary chlorantraniliprole suppresses reproduction in worker bumblebees. **Pest Management Science**, Sussex, v. 69, n. 7, p. 787-791, 2013.

STANLEY, J.; SAH, K.; JAIN, S. K.; BHATT, J. C.; SUSHIL, S. N. Evaluation of pesticide toxicity at their field recommended doses to honeybees, *Apis cerana* and *A. mellifera* through laboratory, semi-field and field studies. **Chemosphere**, v. 119, n. 1, p. 668 – 674, 2015.

TAN, K.; WANG, C.; DONG, S.; LI, D.; NIEH, J. C. The pesticide flupyradifurone impairs olfactory learning in Asian honey bees (*Apis cerana*) exposed as larvae or as adults. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 47 – 54, 2017.

TANING, C. N. T.; VANOMMESLAEGHE, A.; SMAGGHE, G. With or with-out foraging for food, field-realistic concentrations of sulfoxaflor are equally toxic to bumblebees (*Bombus terrestris*). **Entomologia Generalis**, v. 39, n. 2, p. 151 – 155, 2019.

TAVARES, D. A.; ROAT, T. C.; CARVALHO, T. M.; SILVA-ZACARIN, E. C. M.; MALASPINA, O. In vitro effects of thiamethoxam on larvae of Africanized honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Chemosphere**, v. 135, n. 1, p. 370 – 378, 2015.

THERNEAU, T.; LUMLEY, T. **Survival: Survival analysis, including penalised likelihood**. R package version Disponível em: <<http://CRAN.Rproject.org/package=survival>>. Acesso em: 10, abril, 2020.

TISON L.; HAHN M.L.; HOLTZ S.; RÖßNER A.; GREGGERS U.; BISCHOFF G.; MENZEL R. Honey bees behavior is impaired by chronic exposure to the neonicotinoid thiacloprid in the field. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 1, p. 7218-7227 2016.

TISON, L.; ROBNER, A.; GERSCHEWSKI, S.; MENZEL, R. The neonicotinoid clothianidin impairs memory processing in honey bees. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 180, n. 1, p. 139 – 145, 2019.

TOLEDO, V. A. A.; HALAK, A. L.; CHAMBÓ, E. D.; BAITALA, T. V.; COSTAMAIA, F. M.; MALERBO-SOUZA, D. T. Polinização por abelhas em laranjeira (*Citrus sinensis* L.

Osbeck). **Scientia Agraria Paranaensis** – SAP. Mal. Cdo. Rondon, v.12, n.4, p. 236 – 246, 2013.

TOMÉ, H. V. V.; RAMOS, G. S.; ARAÚJO, M. F.; SANTANA, W. C.; SANTOS, G. R.; GUEDES, R. N. C.; MACIEL, C. D.; NEWLAND, P. L.; OLIVEIRA, E. E. Agrochemical synergism imposes higher risk to Neotropical bees than to honeybees. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 160866, 2017.

TOMÉ, H. V. V.; BARBOSA, W. F.; MARTINS, G. F.; GUEDES, R. N. C.; Spinosad in the native stingless bee *Melipona quadrifasciata*: Regrettable nontarget toxicity of a bioinsecticide. **Chemosphere**, v. 124, n. 9, p. 103–109, 2015.

TONG, L.; NIEH, J. C.; TOSI, S. Combined nutritional stress and a new systemic pesticide (flupyradifurone, Sivanto®) reduce bee survival, food consumption, flight success, and thermoregulation. **Chemosphere**, v. 237, n. 1, p. 114 – 120, 2019.

TOSI, S.; BURGIO, G.; NIEH, J. C. A common neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, impairs honey bee flight ability. **Scientific Reports** v. 7, n. 1, p. 1 – 8, 2017.

TOSI, S.; NIEH, J. C.; BRANDT, A.; COLLI, M.; FOURRIER, J.; GIFFARD, H.; HERNANDÉZ-LÓPEZ, J.; MALAGNINI, V.; WILLIAMS, G. R.; SIMON-DELISO, N. Long-term field-realistic exposure to a next-generation pesticide, flupyradifurone, impairs honey bee behaviour and survival. **Communications Biology**, v. 4, n. 1, p. 805, 2021.

WANG, Y.; ZHU, Y. C.; LI, W. Interaction patterns and combined toxic effects of acetamiprid in combination with seven pesticides on honey bee (*Apis mellifera* L.). **Environmental Pollution**, v. 190, n. 1, p. 58 – 65, 2020.

WOODCOCK, B. A.; BULLOCK, J. M.; SHORE, R. F.; HEARD, M. S.; PEREIRA, M. G.; REDHEAD, J.; RIDDING, L.; DEAN, H.; SLEEP, D.; HENRYS, P.; PEYTON, J.; HULMES, S.; HULMES, L.; SÁROSPATAKI, M.; SAURE, C.; EDWARDS, M.; GENERSCH, E.; KNÄBE, S.; PYWELL, R. F. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. **Science**, v. 356, n. 6345, p. 1393 - 1395, 2017.

WU-SMART, J.; SPIVAK, M. Sub-lethal effects of dietary neonicotinoid insecticide exposure on honey bee queen fecundity and colony development. **Scientific Reports**, v. 6, n. 32108, 2016.

XAVIER, V. M., PICANÇO, M. C., CHEDIAK, M., JÚNIOR, P. A. S., RAMOS, R. S., MARTINS, J. C. Acute toxicity and sublethal effects of botanical insecticides to honey bees. **Journal of Insect Science**, v.15, n.1, p.137, 2015.

VANDAME, R.; PALACIO, M. A. Preserved honey bee health in Latin America: a fragile equilibrium due to low-intensity agriculture and beekeeping? **Apidologie**, v. 41, n. 3, p. 243-255, 2010.

VAN ENGELSDORP D.; MEIXNER, M. D. A historical review of managed honeybee populations in europe and the united states and the factors that may affect them. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 103, n. 1, p. 80-S9, 2010.

VAN ENGELSDORP, D.; EVANS, J.D.; SAEGERMAN, C.; MULLIN, C.; HAUBRUGE, E.; NGUYEN, B.K.; FRAZIER, M.; FRAZIER, J.; COX-FOSTER, D.; CHEN, Y.; UNDERWOOD, R.; TARPY, D.R.; PETTIS, J.S. Colony collapse disorder: a descriptive study. **Plos One**, v. 4, n. 8, e 6481, 2009.

VARASSIN, I.G; AMARAL-NETO, L.P. **Biologia da polinização**. Editora Projeto Cultural, Rio de Janeiro. p. 524, 2014.

VARIKOU, K.; GARANTONAKIS, N.; BIROURAKI, A. Exposure of *Bombus terrestris* L. to three different active ingredients and two application methods for olive pest control. **Entomologia Generalis**, v. 39, n. 1, p. 53 – 60, 2019.

VELASCO, L. O. M.; CAPANEMA, L. X. L. **O setor de agroquímicos**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 69-96, 2006.

ZHANG, Z. Y.; LI, Z.; HUANG, Q.; ZHANG, X. W.; KE, L.; YAN, W. Y.; ZHANG, L. Z.; ZENG, Z. J. Deltamethrin Impairs Honeybees (*Apis mellifera*) Dancing Communication. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 78, n. 1, p. 117 – 123, 2019.