

Toxicidade residual de extratos aquosos de nim sobre a abelha *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)

Residual toxicity of aqueous neem extracts on Apis mellifera (Hymenoptera: Apidae)

Emanoely Karoliny Santos da Silva¹, Tais Fernandes da Conceição², Jacquelinne Alves de Medeiros Araújo Costa³, Vitor da Silva Rodrigues⁴, Tiago Augusto Lima Cardoso⁵, Ewerton Marinho da Costa⁶

RESUMO: O uso de inseticidas sintéticos no manejo de pragas tem impactado negativamente populações de *Apis mellifera* em áreas agrícolas. Portanto, objetivou-se avaliar a toxicidade residual do extrato aquoso das sementes e folhas de nim *Azadirachta indica* sobre *A. mellifera*. O bioensaio foi realizado em condições de laboratório e composto por oito tratamentos: Testemunha absoluta - água destilada; Testemunha positiva - Tiametoxam (0,30 g i.a./L), três doses do extrato aquoso de folhas de nim (5, 10 e 20 g/100 mL) e três doses do extrato aquoso de sementes de nim (5, 10 e 20 g/100 mL). Os extratos aquosos das sementes e folhas de nim foram pouco tóxicos a *A. mellifera* via residual, ocasionando menos de 15% de mortalidade. O extrato aquoso das folhas, independente da dose, assim como a dose de 5 g/100mL do extrato aquoso das sementes, apresentaram TL_{50} de 287,17 horas, enquanto as doses 10 e 20 g/100 mL do extrato das sementes proporcionaram TL_{50} de 119,91 horas. Os extratos aquosos de nim não afetaram a capacidade de voo das abelhas que sobreviveram após as 24 horas de exposição aos tratamentos e, independente da dose avaliada, foram pouco tóxicos a *A. mellifera* via residual.

Palavras-chave: *Azadirachta indica*; Declínio; Inseticida natural; Polinizadores.

ABSTRACT: The use of synthetic insecticides in pest management has negatively impacted *Apis mellifera* populations in agricultural areas. Therefore, this study aimed to evaluate the residual toxicity of aqueous extracts from neem (*Azadirachta indica*) seeds and leaves on *A. mellifera*. The bioassay was conducted under laboratory conditions and consisted of eight treatments: absolute control (distilled water); positive control (Thiamethoxam at 0.30 g a.i./L); three doses of aqueous leaf extract (5, 10, and 20 g/100 mL); and three doses of aqueous seed extract (5, 10, and 20 g/100 mL). The aqueous extracts from neem seeds and leaves were minimally toxic to *A. mellifera* via residual exposure, causing less than 15% mortality. The leaf extract, regardless of dose, as well as the 5 g/100 mL dose of the seed extract, showed a median lethal time (LT_{50}) of 287.17 hours, while the 10 and 20 g/100 mL doses of the seed extract resulted in an LT_{50} of 119.91 hours. Neem aqueous extracts did not affect the flight capacity of bees that survived 24 hours after exposure to the treatments and, regardless of the dose tested, were considered minimally toxic to *A. mellifera* via residual exposure.

Keywords: *Azadirachta indica*; Decline; Natural Insecticide; Pollinators.

Autor correspondente: Emanoely Karoliny Santos da Silva
E-mail: luemanoelyka@gmail.com

Recebido em: 2024-04-17
Aceito em: 2025-12-04

¹ Mestra em Horticultura Tropical pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal (PB), Brasil.

² Agrônoma pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal (PB), Brasil.

³ Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró (RN), Brasil.

⁴ Agrônomo pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal (PB), Brasil.

⁵ Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais (PPGSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal (PB), Brasil.

⁶ Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Professor Permanente da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pombal (PB), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As abelhas são consideradas os principais agentes polinizadores existentes no mundo, sendo essenciais para manutenção dos ecossistemas e componentes chave da segurança alimentar global (Khalifa *et al.*, 2021). A abelha *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) é um dos polinizadores de importância agrícola mais utilizados para a polinização de plantas cultivadas, em razão de seu fácil manejo, tamanho de suas colônias e seu perfil generalista na busca de recursos (Pires *et al.*, 2016; Piechowicz; Koziorowska, 2023).

Apesar da importância quanto aos serviços de polinização que prestam à agricultura e aos ecossistemas terrestres, pesquisas vem enfatizando a morte massiva e o desaparecimento de abelhas em diversas partes do mundo, especialmente em áreas agrícolas. Inúmeras causas já foram levantadas a fim de encontrar os motivos da morte das abelhas, destacando-se as mudanças climáticas globais, intensificação agrícola, incidência de patógenos, ataque de pragas e, principalmente, a exposição das abelhas aos agrotóxicos, especialmente os inseticidas (Leska *et al.*, 2021; Singh; Rana, 2025).

Castilhos *et al.* (2019), visando avaliar as perdas de colônias no Brasil, relataram que cerca de 50% das colônias são perdidas anualmente em diferentes regiões do país, estimando a perda de mais de um bilhão de abelhas. Ainda segundo os autores, o uso indiscriminado de inseticidas é indicado como uma das principais causas desse declínio. A exposição das abelhas aos inseticidas pode ocorrer de forma direta, por meio do contato corporal com gotículas de pulverização ou resíduos em plantas, e indiretamente pelo consumo de resíduos dos mesmos, no néctar e pólen das flores, fato que pode prejudicar toda a colônia (Belsky *et al.*, 2022; Démares *et al.*, 2022).

Nesse sentido, na tentativa de reduzir a dependência por inseticidas sintéticos para o manejo de pragas e, conseqüentemente, minimizar os impactos adversos ao ambiente, vem crescendo o número de pesquisas com produtos naturais com ação inseticida, sendo o nim *Azadirachta indica* A. Juss, considerada uma das mais importantes e promissoras espécie de planta utilizada para a síntese de inseticidas botânicos (Juma *et al.*, 2022).

Contudo, esta planta pode ser tóxica sobre organismos benéficos como as abelhas, e alguns trabalhos vêm sendo realizados visando avaliar a toxicidade de produtos à base de nim sobre *A. mellifera*. Amaral *et al.* (2015), verificaram redução na taxa de sobrevivência de abelhas expostas via ingestão a diferentes concentrações de um óleo comercial à base de nim, tratadas durante o desenvolvimento larval e após o início do forrageamento. Gomes *et al.* (2020), também observaram por meio de bioensaios, que via ingestão a *Azadirachta* causou mortalidade de 40% e prejudicou a capacidade de voo das abelhas. Já Melathopoulos *et al.* (2000), relataram o efeito repelente sobre operárias de *A. mellifera* que receberam como alimento um xarope de sacarose contendo menos que 0,01 mg/mL de extrato de nim. Para os extratos aquosos de folhas e sementes de nim, Rodrigues *et al.* (2025) observaram baixa mortalidade sobre *A. mellifera* após exposição direta por meio da pulverização sobre as abelhas.

Apesar das contribuições existentes, informações e estudos sobre toxicidade residual de inseticidas derivados do nim sobre organismos não-alvo, como as abelhas, ainda são escassos na literatura nacional e internacional. Tais informações são indispensáveis para que haja a seleção de inseticidas botânicos que auxiliem no manejo das pragas e garantam a preservação e conservação das abelhas em áreas agrícolas. Diante

disso, objetivou-se avaliar a toxicidade residual de extratos aquosos de folhas e sementes de nim sobre a abelha africanizada *A. mellifera*, em condições de laboratório.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Entomologia da Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias (UAGRA), pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* Pombal, Paraíba, Brasil. Para execução do experimento foram utilizadas operárias adultas de *A. mellifera*, provenientes de cinco (05) colmeias instaladas em caixa de madeira do tipo Langstroth, pertencentes ao apiário da UAGRA/CCTA/UFCG.

Foram avaliadas as doses de 5 g, 10 g e 20 g/100 mL dos extratos aquosos das sementes e folhas nim. As doses do extrato aquoso de sementes de nim foram estabelecidas com base no trabalho desenvolvido por Costa *et al.* (2016), no qual avaliaram o efeito do referido extrato no controle da mosca-minadora (*Liriomyza sativae*) em meloeiro. As mesmas proporções foram mantidas para o extrato aquoso das folhas. Salienta-se que como testemunha absoluta foi utilizada água destilada e como testemunha positiva o inseticida Actara® (Tiametoxam), na dose máxima (0,30 g i.a/L) recomendada pelo fabricante para controle de pragas em meloeiro.

Para o preparo dos extratos vegetais, inicialmente foram coletadas folhas e frutos maduros de plantas de nim localizadas no município de Pombal-PB. Após a coleta, os materiais foram transportados ao laboratório, onde realizou-se a remoção da polpa dos frutos para obtenção das sementes. A secagem de folhas e sementes foi realizada em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 40 °C por um período de 48h. Após a secagem, folhas e sementes foram trituradas, separadamente, em um liquidificador até a obtenção do pó.

As concentrações dos extratos de nim avaliados foram obtidas a partir das quantidades de 5, 10 e 20 g do pó, tanto para folhas quanto sementes, adicionadas a 100 mL de água destilada, sendo a mistura mantida em repouso por 24 horas, em ambiente escuro, para extração das substâncias bioativas. Todas as misturas foram filtradas em tecido Voil antes da aplicação.

Para avaliar a toxicidade residual dos inseticidas, foram produzidas mudas de meloeiro amarelo, cultivar Iracema (SAKATA®), em casa de vegetação do CCTA/UFCG. As mudas foram produzidas e mantidas em vasos (com capacidade de 1 kg) contendo como substrato solo + matéria orgânica (proporção de 2:1), sendo irrigadas duas vezes ao dia. Quando as mudas atingiram o número mínimo de seis folhas definitivas, foram selecionadas 10 plantas para cada tratamento. As plantas foram pulverizadas com os respectivos tratamentos, com auxílio de um pulverizador manual, simulando uma aplicação dos produtos em campo, seguindo a metodologia utilizada por Costa *et al.* (2014).

Em seguida, logo após a secagem dos produtos, as folhas foram cortadas na altura do pecíolo e colocadas em arenas (recipientes plásticos com 15 cm de diâmetro por 15 cm de altura e extremidade parcialmente coberta com tela anti-afídeo e laterais com aberturas de 0,1 cm para possibilitar a adequada circulação de ar no ambiente). Em cada

arena foi adicionado no seu interior pasta Cândi (dieta artificial de açúcar refinado + mel) em recipiente plástico e um chumaço de algodão embebido em água destilada. Somente após o referido procedimento, as operárias adultas de *A. mellifera* foram liberadas no interior das arenas. Para facilitar o manuseio durante a realização do bioensaio, as abelhas foram previamente anestesiadas por meio do uso de frio ($\pm 4^\circ\text{C}$ durante aproximadamente 90 segundos).

O bioensaio foi realizado em delineamento inteiramente casualizado composto por oito tratamentos: Testemunha absoluta (água destilada), Testemunha positiva (Tiametoxam – 0,30 g i.a/L), três doses do extrato aquoso de sementes de nim (5 g/100 mL, 10 g/100 mL e 20 g/100 mL) e três doses do extrato aquoso de folhas de nim (5 g/100 mL, 10 g/100 mL e 20 g/100 mL). Para cada tratamento foram utilizadas 10 repetições, sendo cada unidade experimental formada por 10 abelhas adultas.

Foram avaliadas a mortalidade e os possíveis distúrbios motores (prostração, tremores, paralisia etc.) das abelhas a 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 24 horas após o início da exposição aos tratamentos. Foram registradas como mortas às abelhas que não responderam a estímulos mecânicos ao longo do período de avaliação.

A avaliação da capacidade de voo das abelhas que sobreviveram após as 24 horas de observação, 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 ($35 \times 35 \times 115$ 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 do voo das abelhas. As avaliações ocorreram em uma sala escura, com temperatura média de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $60 \pm 10\%$, 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. A torre de voo apresentou cinco níveis de altura: 1 (base da torre), 2 (de 1 cm a 30 cm de altura), 3 (de 31 cm a 60 cm de altura), 4 (de 61 cm a 90 cm de altura) e 5 (de 91 cm até 115 cm, local onde estava a lâmpada). 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.

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. Os dados de sobrevivência das abelhas foram analisados usando o pacote “survival” (Therneau; Lumley, 2010) para o software R (R Development Core Team, 2019) e submetidos a uma análise de distribuição Weibull. Os tratamentos com efeitos semelhantes (toxicidade e velocidade de mortalidade) foram agrupados por meio de contrastes. O tempo letal mediano (TL_{50}) também foi calculado para cada grupo. Para investigar o efeito dos extratos aquosos tanto de folhas quanto de sementes sobre a capacidade de voo das abelhas, foram utilizadas análises de variância com permutação (PERMANOVA), seguidas de comparações múltiplas com o teste Wilcoxon. As comparações múltiplas foram realizadas entre tratamentos e apenas com as abelhas que atingiram um mesmo nível de altura na torre. Todas as análises foram realizadas no programa R 4.2.2 (R Core Team, 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente da concentração avaliada, os extratos aquosos das sementes e folhas de nim foram pouco tóxicos a *A. mellifera*, diferindo significativamente do inseticida Tiametoxam, que ocasionou 100% de mortalidade. Dentre os extratos avaliados, a maior mortalidade foi observada para as doses de 10 e 20 g/100 mL do extrato das sementes, que ocasionaram cerca de 14% de morte. Os extratos das folhas ocasionaram baixos níveis de mortalidade para todas as doses, sendo estatisticamente iguais a testemunha absoluta (Figura 1).

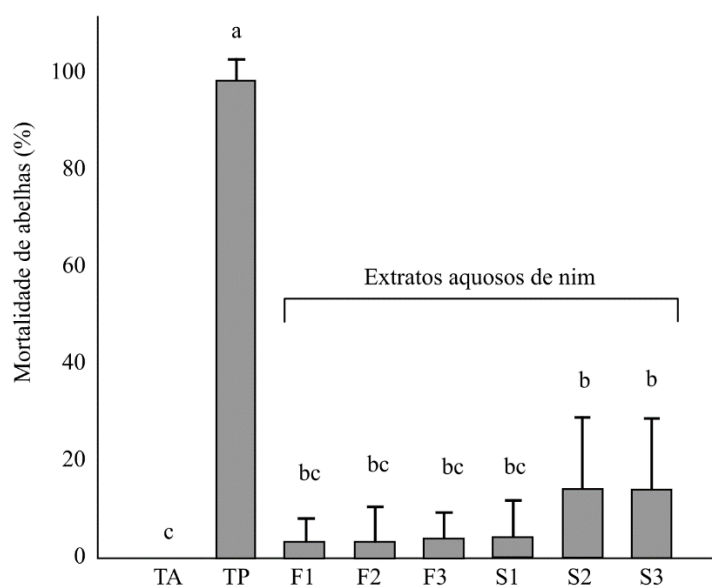


Figura 1. Mortalidade (%) de *Apis mellifera* após exposição residual aos extratos aquosos de sementes e folhas de nim. *TA: Testemunha absoluta; TP: Testemunha positiva; F1: folha (5g/100 mL); F2: folha (10g/100 mL); F3: folha (20g/100 mL); S1: semente (5g/100 mL); S2: semente (10g/100 mL); S3: semente (20g/100 mL). *Mortalidade corrigida pela equação de Abbott (1925), sobre as barras, letras diferentes representam diferenças significativas de acordo com o teste de Wilcoxon com nível de significância de 5%

Não foi observada nenhuma alteração motora nas abelhas expostas aos resíduos do extrato aquoso de folhas e sementes de nim em relação as abelhas do tratamento testemunha absoluta (água destilada).

Com relação à análise de sobrevivência, todos os tratamentos a base de nim apresentaram tempo letal mediano (TL_{50}) superiores a testemunha positiva. O extrato aquoso das folhas, independente da dose, assim como a dose de 5 g/100 mL do extrato aquoso das sementes, apresentaram TL_{50} de 287,17 horas, enquanto as doses 10 e 20 g/100 mL do extrato das sementes, proporcionaram uma TL_{50} de 119,91 horas. A testemunha positiva proporcionou um TL_{50} de 3,83 horas (Figura 2).

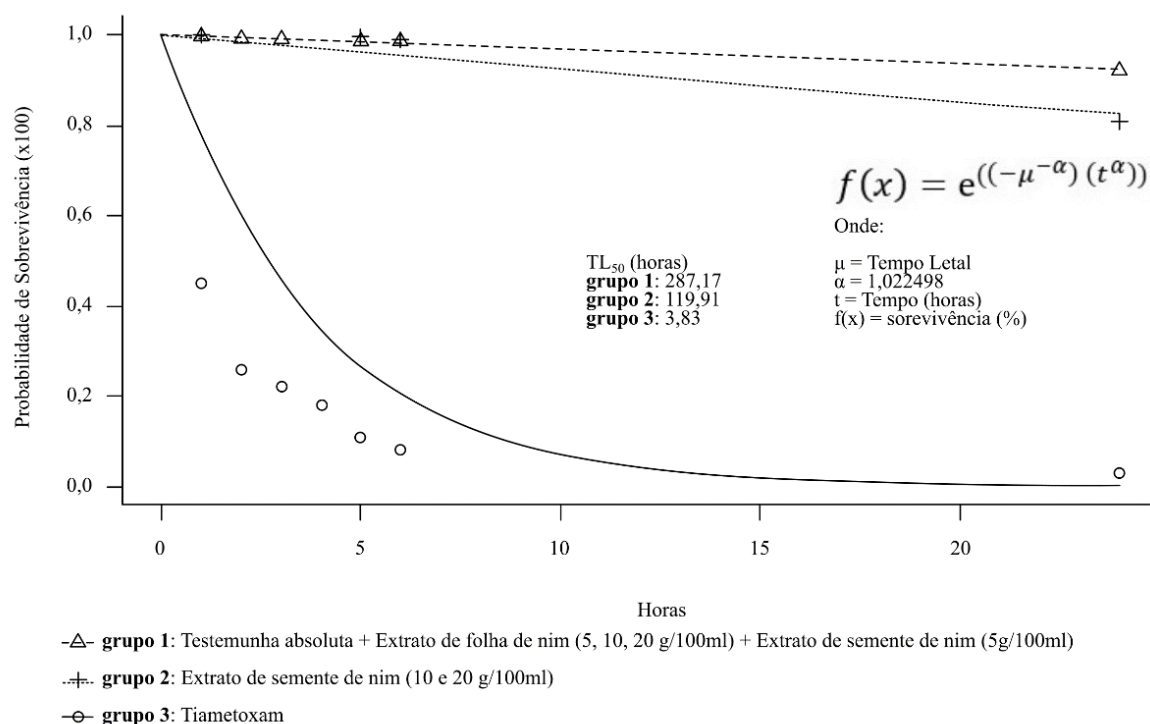


Figura 2. Sobrevivência (%) de *Apis mellifera* e tempos letais medianos (TL₅₀) após exposição residual aos extratos aquosos de semente e folhas de nim

Nas doses avaliadas no presente estudo, os resíduos dos extratos aquosos de nim em folhas de meloeiro ocasionaram baixa mortalidade e proporcionaram elevado tempo letal mediano, sendo pouco tóxicos sobre *A. mellifera*. Apesar da baixa mortalidade, é importante mencionar que dentre os extratos aquosos, as duas maiores doses (10 e 20 g/100 mL) do extrato de sementes proporcionaram a maior mortalidade, sendo este efeito possivelmente devido as sementes apresentarem maior concentração de Azadiractina, que é o principal composto bioativo da *A. indica* (Dhakad *et al.*, 2025). Além disso, Abd-Allah *et al.* (2005), relataram que os efeitos do nim em *A. mellifera* e outros insetos benéficos são dependentes da dose, e em doses mais altas, o nim pode não ser completamente seguro para as abelhas.

Já o extrato das folhas foi praticamente inócuo a *A. mellifera*, o que pode ter sido influenciado por alguns fatores, como a menor concentração de Azadiractina nas folhas, método de extração com solvente aquoso, pois o composto AZA possui solubilidade moderada em água, e ainda em virtude de derivados do nim terem ação inseticida principalmente quando ingeridos (Amaral *et al.*, 2015; Fernandes, 2019).

É importante destacar ainda que, apesar de não haver informações sobre o período de tempo em que os resíduos de nim podem permanecer em folhas de meloeiro, alguns autores destacaram que o efeito residual de inseticidas a base de nim é curto. González-Gómez *et al.* (2016), avaliando os efeitos do óleo de nim aplicado no controle de *Varroa destructor* sobre operárias e rainhas de abelhas, verificaram que o efeito residual do óleo foi de curta duração, pois observaram oviposição da rainha em células que haviam sido esvaziadas devido à eliminação dos ovos ou larvas tratadas com óleo de nim. Segundo Schmutterer (1990), o efeito residual de produtos à base de nim é em torno de 5 a 7 dias.

Para o autor, do ponto de vista ecológico, produtos com tais propriedades não prejudicam os ecossistemas.

No tocante a capacidade de voo, as doses dos extratos de nim, tanto de folhas quanto de sementes, não interferiram significativamente na quantidade de abelhas que atingiu cada nível da torre de voo ($p > 0,05$; Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Análises de variância com permutação (PERMANOVA) para as variáveis que afetam a capacidade de voo das abelhas expostas a extrato de folhas de nim

Fontes de variação	g.l.	Soma dos Quadrados	R ²	F	P-valor
Tratamento	1	0.88	0.00190	0.4504	0.503
Dose	1	1.96	0.00422	1.0013	0.291
Altura	1	52.12	0.11211	26.6253	0.001
Tratamento*Altura	1	29.82	0.06414	15.2343	0.001
Dose*Altura	1	0.37	0.00079	0.1885	0.626
Residual	194	379.73	0.81684		
Total	199	464.88	1.00000		

A quantidade de abelhas variou significativamente entre as alturas em ambos os casos ($p < 0,05$), o que é natural devido às possibilidades que os insetos têm de escolher entre voar até o topo ou parar em algum dos níveis. A interação entre tratamento e altura no resultado para o extrato de folhas pode indicar que em algumas alturas específicas houve diferença na quantidade de abelha de acordo com o tratamento a que foram submetidas.

Tabela 2. Análises de variância com permutação (PERMANOVA) para as variáveis que afetam a capacidade de voo das abelhas expostas a extrato de sementes de nim

Fontes de variação	g.l.	Soma dos Quadrados	R ²	F	P-valor
Tratamento	1	1.04	0.00162	0.4340	0.494
Dose	1	0.36	0.00056	0.1500	0.684
Altura	1	173.21	0.26929	72.1650	0.001
Tratamento*Altura	1	0.04	0.00006	0.0156	0.906
Dose*Altura	1	2.92	0.00455	1.2183	0.262
Residual	194	465.63	0.72393		
Total	199	643.19	1.00000		

A maioria das abelhas conseguiram atingir o topo da torre de voo (Figuras 3 e 4) independente da dose dos extratos das folhas e sementes de nim.

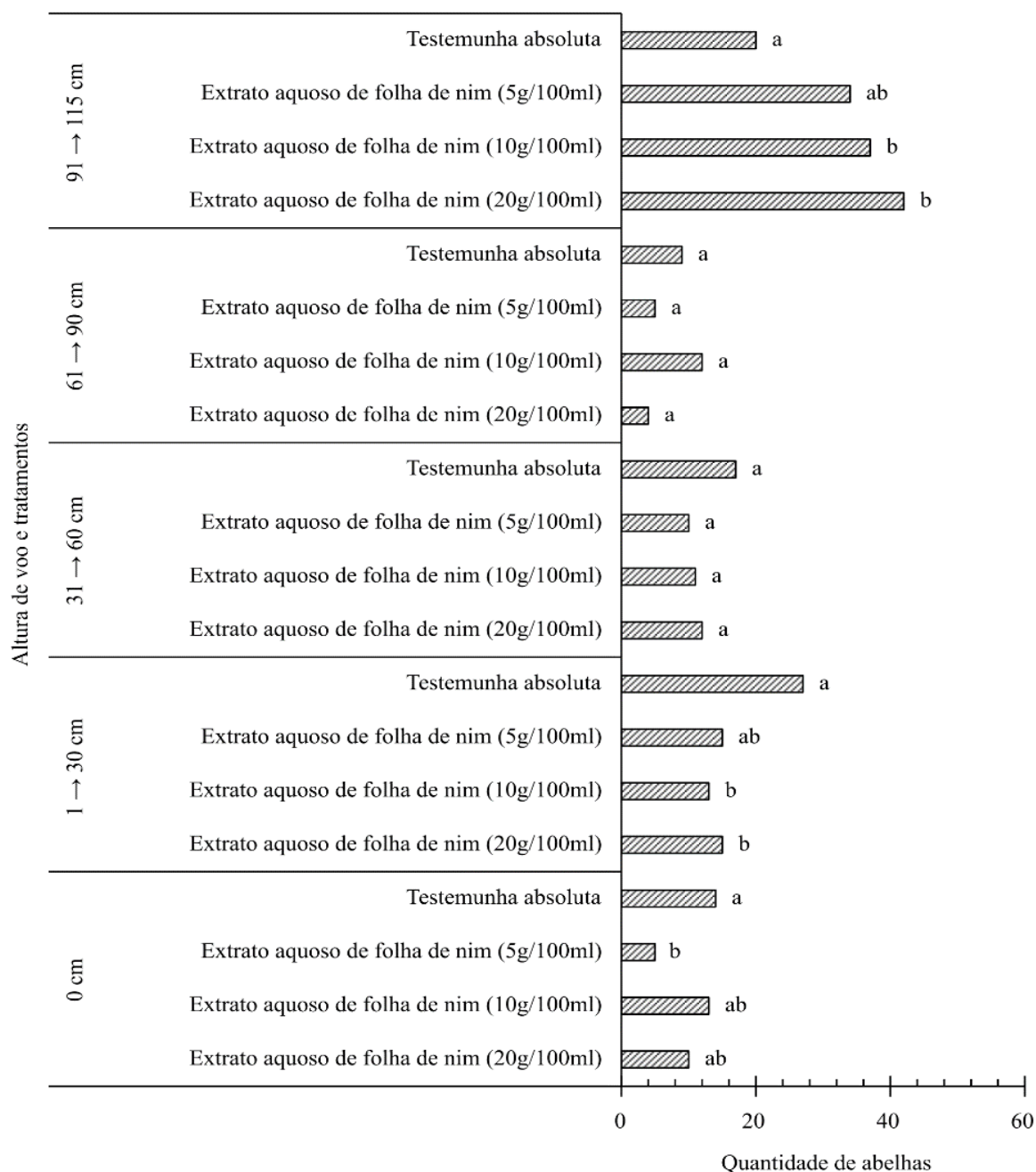


Figura 3. Quantidade de abelhas que atingiu cada nível da torre de voo de acordo com os tratamentos com extrato aquoso de folha de nim a que foram submetidas, Pombal-PB, 2022

Após a exposição ao extrato de folhas nas doses 10 e 20 g/100 mL, uma quantidade maior de abelhas atingiram o topo quando comparada à testemunha absoluta ($p < 0,05$). Quando expostas ao extrato de sementes, não ocorreram diferenças significativas na quantidade de abelhas que atingiram o topo da torre de voo ($p > 0,05$).

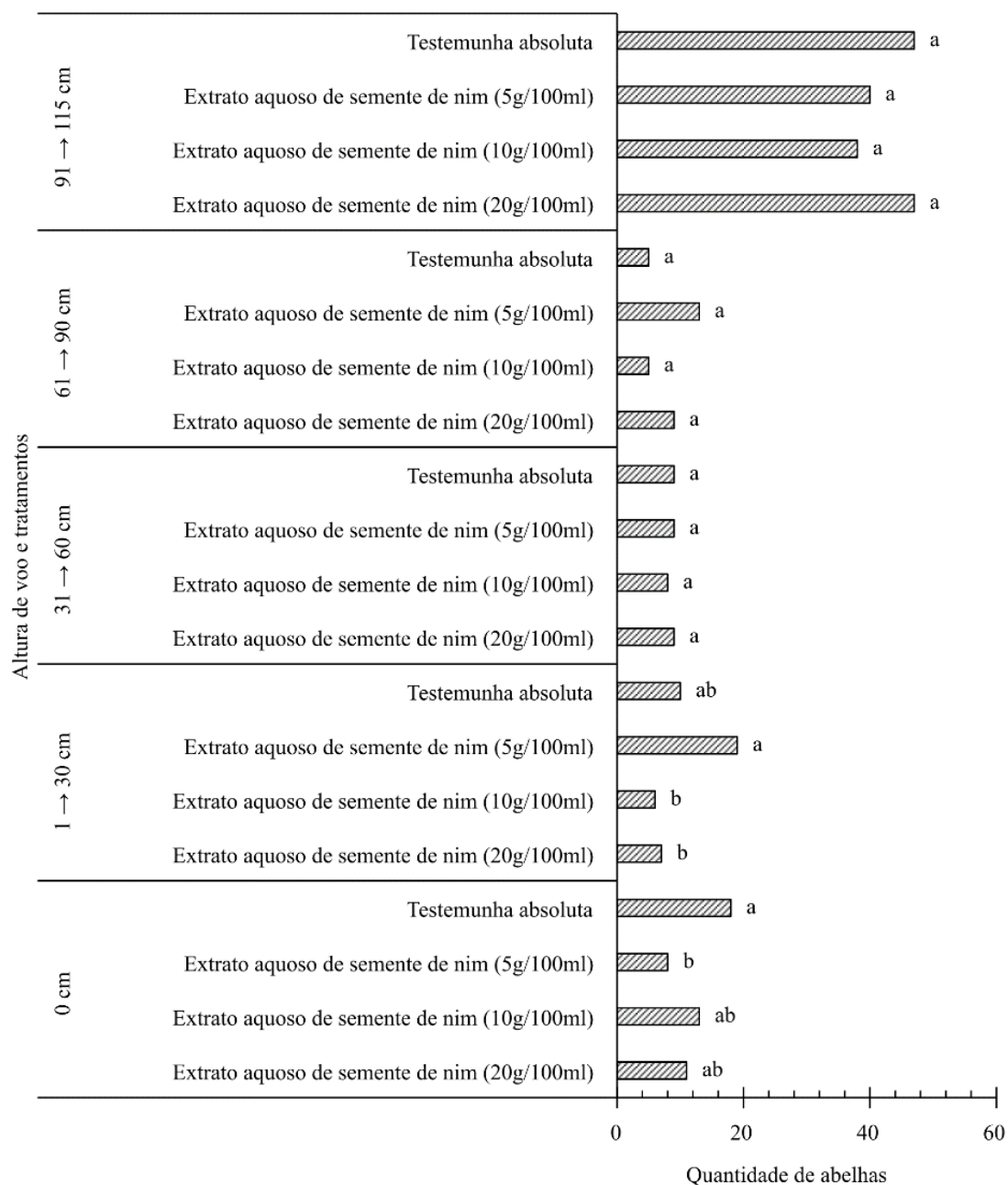


Figura 4. Quantidade de abelhas que atingiu cada nível da torre de voo de acordo com os tratamentos com extrato aquoso de sementes de nim a que foram submetidas, Pombal-PB, 2022

Estes resultados sugerem que os extratos de folha e semente de nim, nas doses avaliadas, não afetam negativamente a capacidade de voo das abelhas, apresentando-se como seguros a estes organismos. Mesmo com doses diferentes, porém com resultados semelhantes, extratos a base de nim também foram relatados como seguros para abelhas por Mendonça *et al.* (2022), via ingestão de dieta contaminada e Oliveira *et al.* (2021), após aplicação em mudas de tomateiro. Raguraman e Kannan (2014), destacam que nenhuma toxicidade residual/persistente de nim ou outros pesticidas botânicos no meio ambiente até então foi relatada.

Alternativamente, inseticidas derivados de plantas são caracterizados por sua toxicidade relativamente baixa para organismos não-alvo e alta biodegradabilidade

devido à sua origem botânica. Isso torna possível incorporar tais inseticidas em programa de manejo integrado de pragas (Mirzaei; Omara, 2024). Em áreas de produção orgânica e agroecológica, onde o uso de pesticidas não é permitido, o uso de extratos botânicos é uma alternativa viável para o manejo de insetos-praga, podendo ser mais eficaz do que os inseticidas sintéticos em termos de rendimento das culturas e conservação dos insetos não-alvo. (Toan *et al.*, 2021; Habarurema *et al.*, 2022; Chawanda *et al.*, 2023).

Os resultados obtidos sugerem que o uso de extratos de nim podem contribuir para futuras ações de conservação e mitigação de riscos relacionados a toxicidade de pesticidas sintéticos em áreas agrícolas sobre *A. mellifera*, uma vez que essas substâncias se caracterizam como potenciais alternativas no controle de insetos-praga e são pouco nocivos a organismos não-alvo. Além disso, contribuirão para subsidiar novas pesquisas em outros modos de exposição e em condições de campo.

4 CONCLUSÃO

Os extratos aquosos das sementes e folhas de nim, em concentrações de até 20 g/100 mL, foram pouco tóxicos a *A. mellifera* via residual em folhas de meloeiro. Os extratos aquosos de folhas e sementes de nim não afetaram a capacidade de voo de *A. mellifera*.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, Riverside, v. 18, n. 1, p. 265-267, 1925.

ABD-ALLAH, S. M.; TABORSKY, V.; KAMLER, F.; KAZDA, J. Effect of two NeemAzal™ formulations on honeybees under semi-field conditions. **Plant Protection Science**, v. 41, p. 63–72, 2005.

AMARAL, R. L.; VENZON, M.; FILHO, S. M.; LIMA, M. A. P. Does ingestion of neem-contaminated diet cause mortality of honeybee larvae and foragers? **Journal of Apicultura Research**, v. 54, n. 4, p. 405-410, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1159821>.

BELSKY, J.; BIDDINGER, D. J.; SEITER, N.; JOSHI, N. K. Various routes of formulated insecticide mixture whole-body acute contact toxicity to honey bees (*Apis mellifera*). **Environmental Challenges**, v. 6, p. 100408, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100408>.

CASTILHOS, D.; BERGAMO, G. C.; GRAMACHO, K. P.; GONÇALVES, L. S. Bee colony losses in Brazil: a 5-year online survey. **Apidologie**, v. 50, p. 263–272, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00642-7>.

CHAWANDA, G.; TEMBO, Y. L.; DONGA, T. K.; KABAMBE, V. H.; STEVENSON, P. C.; BELMAIN, S. R. Agroecological management of fall armyworm using soil and botanical treatments reduces crop damage and increases maize yield. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, p. 1114496, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1114496>.

COSTA, E. M.; TORRES, S. B.; FERREIRA, R. R.; SILVA, F. G.; ARAUJO, E. L. Extrato aquoso de sementes de nim no controle de *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) em meloeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 401-406, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160048>.

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 honeybee *Apis mellifera* under laboratory conditions. **Apidologie**, v. 45, n. 1, p. 34-44, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-013-0226-5>.

DÉMARES, F. J.; SCHMEHL, D.; BLOOMQUIST, J. R.; CABRERA, A. R.; HUANG, Z. Y.; LAU, P.; RANGEL, J.; SULLIVAN, J.; XIE, X.; ELLIS, J. D. Honey bee (*Apis mellifera*) exposure to pesticide residues in nectar and pollen in urban and suburban environments from four regions of the United States. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 41, n. 4, p. 991-1003, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5298>.

DHAKAD, A. K.; KUMAR, R.; CHOUDHARY, R.; SINGH, S.; KHAN, S.; POONIA, P. K. Traditional to modern perspectives on Neem (*Azadirachta indica*): A gateway to bioactive compounds, sustainable agrochemicals and industrial applications. **Industrial Crops and Products**, v. 231, p. 121155, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121155>.

FERNANDES, S. R.; BARREIROS, L.; OLIVEIRA, R. F.; CRUZ, A.; PRUDÊNCIO, C.; OLIVEIRA, A. I.; PINHO, C.; SANTOIA, N.; MORGADO, J. Chemistry, bioactivities, extraction and analysis of azadirachtin: Stateoftheart. **Fitoterapia**, v. 134, p. 141-150, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2019.02.006>.

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, p. 97-107, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02145-8>.

GONZÁLEZ-GÓMEZ, R.; OTERO-COLINA, G.; VILLANUEVA-JIMÉNEZ, J. A.; SANTILLÁN-GALIZA, T.; PEÑA-VALDIVIA, C. B.; SANTIZO-RINCÓN, J. A. Effects of neem (*Azadirachta indica*) on honeybee workers and queens, while applied to control *Varroa destructor*. **Journal of Apicultural Research**, v. 55, n. 5, p. 413-421, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1260239>.

HABARUREMA, G.; HABINSHUTI, J.; MUKARUNYANA, B.; UWAMARIYA, C.; SAFARI, J. C.; NDAYAMBAJE, J. B. Activity assay of neem products as pest antifeedant in agro-

biodiversity. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, n. 1, p. 109-115, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00523-6>.

JUMA, P.; NJAU, N.; MICHENI, C. M.; KHAN, H. A.; MITALO, O. W.; ODONGO, D. Trends in neem (*Azadirachta indica*)-based botanical pesticides. In: **New and future development in biopesticide research: biotechnological exploration**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 137-156. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3989-0_5.

KHALIFA, S. A. M.; ELSHAFIEY, E. H.; SHETAIA, A. A.; EL-WAHED, A. A. A.; ALGETHAMI, A. F.; MUSHARRAF, S. G.; ALAJMI, M. F.; ZHAO, C.; MASRY, S. H. M.; ABDEL-DAIM, M. M.; HALABI, M. F.; KAI, G.; EL-SEEDI, H. R. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. **Insects**, v. 12, n. 8, p. 688, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12080688>.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, p. 583-621, 1952.

LESKA, A.; NOWAK, A.; NOWAK, I.; GÓRCZYŃSKA, A. Effects of insecticides and microbiological contaminants on *Apis mellifera* health. **Molecules**, v. 26, n. 16, p. 5080, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26165080>.

MELATHOPOULOS, A. P.; WINSTON, M. L.; WHITTINGTON, R.; SMITH, T.; LINDBERG, C.; MUKAI, A.; MOORE, M. Comparative laboratory toxicity of neem pesticides to honey bees (Hymenoptera: Apidae), their mite parasites *Varroa jacobsoni* (Acari: Varroidae) and *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae), and brood pathogens *Paenibacillus larvae* and *Ascophaera apis*. **Journal of economic entomology**, v. 93, n. 2, p. 199-209, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.199>.

MENDONÇA, A. J. T.; SILVA R. V.; SILVA, E. K. S.; SILVA, R. P.; BARROS, C. H. P.; CARDOSO, T. A. L.; COSTA, E. M. Toxicidade oral de inseticidas derivados do nim sobre a abelha africanizada *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 40335-40345, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-493>.

MIRZAEI, S.; OMARA, Z. Plant-derived insecticides for pest management. **Journal of Ethno-Pharmaceutical Products**, v. 4, n. 1, p. 40-58, 2024.

OLIVEIRA, S. M.; ROSA, R. O.; FERREIRA, F. M. C. Bioinseticidas e diversidade de abelhas nativas no cultivo do tomateiro. **Revista Ponto de Vista**, v. 10, n. 3, p. 01-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47328/rpv.v10i3.13465>.

PIECHOWICZ, B.; KOZIOROWSKA, A. The Pollinators in Agricultural Ecosystems. **Agriculture**, v. 13, n. 5, 1076, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13051076>.

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**, v. 51, p. 422-442, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500003>.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. 2022. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 14 fev. 2022.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em 14 fev. 2022.

RAGURAMAN, S.; KANNAN, M. Non-target effects of botanicals on beneficial arthropods with special reference to *Azadirachta indica*. In: Singh, D. **Advances in plant biopesticides**, Springer, p. 173-205, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2006-0_10.

RODRIGUES, V. S.; SILVA, E. K. S.; CARDOSO, T. A. L.; ARAUJO, E. L.; COSTA, E. M.; SILVA, R. P. Sobrevivência e capacidade de voo de *Apis mellifera* após exposição direta a extratos aquosos de nim. **Nativa**, v. 13, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31413/nat.v13i1.18465>.

SCHMUTTERER, H. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. **Annual review of entomology**, v. 35, n. 1, p. 271-297, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>.

SINGH, G.; RANA, A. Honeybees and colony collapse disorder: understanding key drivers and economic implications. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, p. 1-17, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43538-025-00399-x>.

THERNEAU, T.; LUMLEY, T. survival: **Survival analysis, including penalised likelihood**. **R package version**, v. 2, p. 36-2, 2010. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/survival/index.html>. Acesso em: 14 fev. 2022.

TOAN, D. H.; VAN HOANG, D.; HOANG, V. D.; QUANG, L. D.; DAI LAM, T. Application of botanical pesticides in organic agriculture production: Potential and challenges. **Vietnam Journal of Science and Technology**, v. 59, n. 6, p. 679-701, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15625/2525-2518/59/6/16217>.