

NEONICOTINÓIDES VERSUS ABELHAS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS EFEITOS SOBRE ESSES POLINIZADORES E A NECESSIDADE DE REAVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS



<https://doi.org/10.56238/arev6n4-262>

Data de submissão: 17/11/2024

Data de publicação: 17/12/2024

William Cardoso Nunes

Mestranda em Meio Ambiente e Sistemas de Produção Agropecuária Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil
E-mail: william.cardoso@unemat.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8753-0570>

Malislene Lucas de Araujo

Mestranda em Meio Ambiente e Sistemas de Produção Agropecuária Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil
E-mail: malislene.araujo@unemat.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4559-3732>

Diones Krinski

Doutoramento em Zoologia
Federal University of Paraná (UFPR) Curitiba, Paraná, Brazil
E-mail: diones.krinski@unemat.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4719-5314>

Miriam Hiroko Inoue

Doutoramento em Agronomia
Universidade Estadual de Maringá (UEM) Maringá, Paraná, Brasil
Universidade Estadual de Mato Grosso, Brasil
E-mail: miriam@unemat.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5332-5170>

RESUMO

Os neonicotinóides, uma classe de inseticidas amplamente utilizados na agricultura, têm sido associados a impactos negativos significativos sobre os polinizadores, especialmente as abelhas. Este estudo realiza uma revisão sistemática da literatura para avaliar os efeitos desses compostos, com foco em espécies nativas e silvestres. A exposição aos neonicotinóides pode causar mortalidade direta e efeitos subletais em abelhas e outros polinizadores, prejudicando o comportamento de forrageamento e a saúde da colônia. Dentre os 42 artigos revisados, a abelha europeia (*Apis mellifera*) foi a espécie mais investigada, com 17 menções. No entanto, a inclusão de espécies nativas, como *Bombus terrestris* e *Melipona scutellaris*, está ganhando destaque, destacando a necessidade de proteger a diversidade de polinizadores para garantir a sustentabilidade agrícola e a biodiversidade. O estudo conclui que uma reavaliação das práticas agrícolas e regulatórias é urgentemente necessária para mitigar os efeitos dos neonicotinóides nos ecossistemas.

Palavras-chave: Avaliação de Risco Ecológico (ERA). Sustentabilidade. *Apis mellifera*. Não-*Apis* abelhas. Imidacloprido. Clotianidina.

1 INTRODUÇÃO

Os neonicotinóides são uma classe de inseticidas sistêmicos amplamente utilizados para controlar inúmeras pragas e tratar sementes agrícolas (WARE; WHITACRE, 2004). Devido ao seu uso generalizado nos últimos anos, os produtos à base de neonicotinóides têm sido associados ao declínio da população de abelhas em vários países (GOULSON, 2013; MEIKLE *et al.*, 2021). Por serem altamente sistêmicos e com persistência de longo prazo, esses compostos são frequentemente aplicados em sementes de culturas economicamente importantes, como milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), durante o processo de semeadura (DOUGLAS; TOOKER, 2015). Por atuarem como agonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina no sistema nervoso central dos insetos (MATSUDA *et al.*, 2001), bloqueando-os e, consequentemente, impedindo a passagem dos impulsos nervosos (TOMIZAWA; CASIDA, 2005), esse modo de ação permite o controle principalmente de insetos que atacam as raízes e o colarinho, bem como aqueles que se alimentam da parte aérea da planta. Além disso, os neonicotinóides podem agir por contato, tornando-os adequados para controlar muitos insetos que picam e sugam. Eles também são usados em tratamentos de sementes para proteger contra insetos que vivem no solo; Eles são absorvidos pelo sistema radicular e depois distribuídos uniformemente, mantendo uma concentração eficaz da substância ativa nas plantas jovens.

Estudos recentes têm demonstrado os efeitos deletérios desses inseticidas na sobrevivência, comportamento e saúde de colônias de abelhas melíferas e outros polinizadores silvestres (RUNDLÖF *et al.*, 2015; TSVETKOV *et al.*, 2017). A toxicidade associada aos neonicotinoides representa uma preocupação significativa para a saúde das populações de abelhas, uma vez que esses compostos químicos têm demonstrado potencial para serem letais ou causar efeitos subletais, mesmo em concentrações extremamente baixas (WOODCOCK, *et al.*, 2017; PEREIRA; DINIZ; RUVOLO-TAKASUSUKI, 2020).

Vários estudos científicos indicam que a exposição a quantidades mínimas de neonicotinóides, como 5 nanogramas por abelha, pode resultar na mortalidade de até 50% dos indivíduos expostos (TSVETKOV *et al.*, 2017). Esse achado é especialmente alarmante, considerando que a aplicação desses pesticidas é uma prática comum na agricultura moderna, onde são frequentemente usados no tratamento de sementes e proteção de cultivos.

Como resultado, a contaminação do ambiente agrícola está se espalhando, afetando não apenas as abelhas (*Apis spp.*), mas também outros polinizadores e organismos benéficos que desempenham papéis cruciais na manutenção da biodiversidade e na polinização das plantas. A magnitude desse problema destaca a necessidade urgente de uma reavaliação das práticas agrícolas

atuais e da regulamentação do uso de neonicotinóides para proteger a saúde das abelhas e, consequentemente, a sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas.

Além da mortalidade direta, os neonicotinóides também afetam o comportamento e a saúde das colônias de abelhas (MEDRZYCHI *et al.*, 2003). A exposição a esses pesticidas pode interferir na capacidade das abelhas de forragear, navegar e se comunicar, resultando em um fenômeno conhecido como colapso das colônias (LUDICKE; NIEH, 2020). Esse colapso é caracterizado pela ausência de abelhas operárias, que abandonam a colônia, deixando para trás a rainha e a ninhada, o que compromete a sobrevivência da colônia e causa desorientação (FISCHER *et al.*, 2014).

A contaminação por neonicotinóides não se limita às abelhas, mas também afeta uma variedade de outros polinizadores, como borboletas e besouros. Pesquisas indicam que uma parcela significativa desses resíduos de agrotóxicos é transportada pelo vento, o que pode impactar uma ampla gama de insetos que desempenham papéis essenciais na polinização e manutenção da biodiversidade (FERREIRA *et al.*, 2022).

Esta situação levanta sérias preocupações sobre a saúde dos ecossistemas agrícolas e da biodiversidade em geral, uma vez que a perda de polinizadores pode comprometer a produção agrícola e a estabilidade dos habitats naturais. No contexto brasileiro, o aumento do uso de agrotóxicos, incluindo os neonicotinoides, está intimamente associado à expansão das monoculturas, que são particularmente suscetíveis a agrotóxicos severos e, portanto, requerem aplicações intensivas de agrotóxicos (IBAMA, 2020). Incidentes de mortalidade em massa de abelhas têm sido frequentemente registrados, o que destaca a urgência de uma avaliação mais rigorosa dos impactos desses produtos químicos nos polinizadores (JACOB, 2019).

Apesar da crescente preocupação com a saúde das abelhas e outros polinizadores, ainda há uma lacuna significativa nas pesquisas que analisam os efeitos específicos dos neonicotinóides sobre as abelhas nativas no Brasil, especialmente quando consideramos que existem cerca de 3.000 espécies de abelhas no Brasil, das quais aproximadamente 10% são abelhas sem ferrão (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002). Esses dados por si só tornam imperativo a realização de estudos adicionais para entender melhor a extensão e a gravidade dos impactos dos neonicotinóides nessa *beeodiversidade*.

Em resumo, os neonicotinóides representam uma ameaça significativa para as populações de abelhas e a biodiversidade em geral. A combinação de mortalidade direta, efeitos subletais e contaminação ambiental requer atenção urgente e ações coordenadas para mitigar os impactos desses pesticidas e proteger os polinizadores essenciais para a agricultura e os ecossistemas (YANG *et al.*, 2020). Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar, com base em uma revisão de literatura,

o impacto do uso (ou não) de neonicotinóides nas abelhas, que desempenham um papel ecossistêmico muito importante por meio da polinização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico de um estudo compreende uma análise crítica e organizada da literatura relevante para o tema, fornecendo uma contextualização teórica e definindo os conceitos-chave. Deve conter de forma abrangente as teorias, modelos e pesquisas anteriores, identificando lacunas, contradições e consensos na literatura que são importantes para o foco do trabalho que está sendo desenvolvido.

3 METODOLOGIA

A revisão foi realizada por meio de uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados científicas Scopus e Google Scholar, com o objetivo de compilar e analisar dados sobre os efeitos dos neonicotinóides nas abelhas. Para a seleção dos artigos, utilizou-se uma metodologia sistemática adaptada por Galvão e Pereira (2014). O processo foi realizado nas seguintes etapas:

1. Questão de Pesquisa: A questão central que norteou esta revisão foi: Quais são os principais impactos dos neonicotinóides nas populações de abelhas, com foco na biodiversidade?
2. Pesquisa bibliográfica: A pesquisa foi realizada em bases de dados científicas, incluindo Scopus e Google Scholar, abrangendo o período de 2020 a 2024. As palavras-chave utilizadas foram: *Neonicotinóides, Abelhas, Toxicidade*. A busca incluiu artigos que discutem tanto os mecanismos de ação desses pesticidas quanto seus impactos na biodiversidade e na agricultura.
3. Seleção de Artigos: A seleção inicial dos artigos foi baseada na análise de títulos e resumos, levando em consideração a relevância para o tema central da revisão, sendo selecionados alguns filtros para pesquisa dentro: Título do artigo, Resumo, Palavras-chave; Área de estudo: Limitada às Ciências Agrárias e Biológicas, limitando assim o número de artigos a 42 de acordo com o.
4. Tipo de documento: Limitado ao artigo. Foram incluídos apenas estudos que abordaram os efeitos dos neonicotinóides sobre abelhas e outros polinizadores, excluindo artigos que tratavam de outros tipos de pesticidas ou espécies não relacionadas aos polinizadores.
5. Extração de dados: Os artigos pré-selecionados foram organizados em uma planilha, categorizados por termos de busca, base de dados, ano de publicação, local do estudo e autores. Essa organização permitiu a análise quantitativa e qualitativa dos artigos, além de

facilitar a visualização dos resultados em tabelas.

6. Avaliação da Qualidade Metodológica: Cada artigo foi analisado na íntegra para avaliar a metodologia, objetivos, resultados e conclusões. A avaliação teve como foco a qualidade metodológica, buscando identificar possíveis vieses e a robustez dos achados relatados.
7. Síntese de Dados (Meta-análise): Os dados coletados foram sintetizados agrupando os estudos em diferentes categorias temáticas, de acordo com os principais focos de pesquisa identificados. Isso incluiu a análise dos impactos dos neonicotinóides na mortalidade das abelhas, efeitos subletais e comportamentais e as implicações para a sustentabilidade agrícola e conservação da biodiversidade.

Essa abordagem metodológica permitiu uma análise abrangente e crítica dos estudos selecionados, contribuindo para uma melhor compreensão dos impactos dos neonicotinóides sobre os polinizadores e a urgência de ações regulatórias para proteger a biodiversidade, especialmente as abelhas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao revisar os 42 artigos científicos sobre o impacto dos neonicotinoides em diversas espécies de abelhas nativas nas regiões analisadas, foi possível identificar uma série de efeitos adversos associados a esses inseticidas amplamente utilizados na agricultura. Por exemplo, os estudos realizados por Pereira *et al.* (2024) que avaliaram a toxicidade direta de neonicotinóides como imidaclopride, spinosad e malatião, e mostraram que tais produtos resultaram em interferência no comportamento de voo; e também fornecem contaminação de abelhas por transmissão via trofálaxis, resultando em mortes adicionais dentro da colônia. Esses impactos não afetam apenas as abelhas individuais, mas também comprometem a biodiversidade e a saúde geral dos ecossistemas.

Estudos realizados por diversos autores nos últimos dois anos têm mostrado que os neonicotinoides são prejudiciais ao funcionamento das colônias de abelhas, prejudicando sua capacidade de polinização e, consequentemente, reduzindo a produtividade das plantas que dependem desses polinizadores essenciais (SON *et al.*, 2023; BARTLETT *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2024; RONDEAU; RAINÉ, 2024). A análise desses estudos indica uma preocupação crescente com a necessidade de mitigar os efeitos do uso de neonicotinóides para proteger as abelhas e, por extensão, a biodiversidade agrícola e natural. Preservar as populações de abelhas é vital para manter o equilíbrio ecológico e garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A avaliação da toxicidade de neonicotinóides em diferentes espécies de abelhas, como *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758), possibilita avaliar possíveis variações que impactam a saúde desses polinizadores (CABEZAS; FARINÓS, 2022; OLIVEIRA, *et al.*, 2023). Assim, os neonicotinoides, amplamente utilizados na agricultura, têm sido reconhecidos por sua alta toxicidade, podendo causar efeitos letais e subletais nas abelhas. A extração de dados de toxicidade obtidos em *A. mellifera* para abelhas nativas brasileiras como *Melipona scutellaris* (Latreille, 1811), *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793), *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811), *Tetragonisca fiebrigi* (Schwarz, 1938), *Tetragonisca weyrauchi* (Schwarz, 1943) e *Xenoglossa pruinosa* (Say, 1837) apresenta desafios, uma vez que as respostas podem variar entre as espécies, dificultando a avaliação de risco.

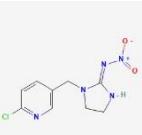
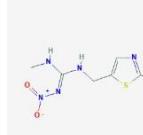
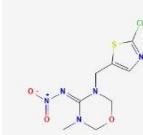
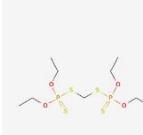
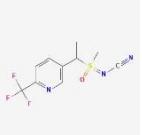
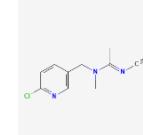
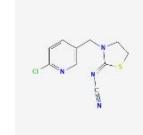
A abelha europeia (*A. mellifera*) foi a espécie mais estudada, aparecendo em 17 dos artigos revisados. Isso provavelmente está relacionado ao fato de essa abelha ser criada e usada na apicultura, o que certamente facilita a pesquisa sobre essa espécie. Além disso, sua importância econômica como polinizador o torna foco de pesquisas sobre os impactos dos neonicotinoides, com o objetivo de avaliar os danos à saúde da colônia e sua eficácia na polinização (SON *et al.*, 2023; LU *et al.*, 2024). Embora *A. mellifera* continue a ser o foco predominante de estudos sobre os efeitos dos neonicotinóides, estudos relacionados a espécies como a abelha *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758) e *Melipona scutellaris* indicam um esforço crescente para explorar os impactos desses inseticidas em abelhas nativas e silvestres.

Essa tendência de valorização da diversidade de polinizadores é essencial para garantir a resiliência do ecossistema e a sustentabilidade da produção agrícola. *Bombus terrestris*, por exemplo, desempenha um papel crucial na polinização de várias culturas e plantas silvestres (KAWAKITA *et al.*, 2004; CAMERON *et al.*, 2007; WILLIAMS *et al.*, 2008;). Além disso, espécies nativas de abelhas sem ferrão do Brasil, como *Melipona scutellaris*, *Trigona spinipes*, *Tetragonisca angustula*, *Tetragonisca fiebrigi*, *Tetragonisca weyrauchi* e *Xenoglossa pruinosa*, são igualmente importantes na polinização de plantas tropicais e na produção de mel. Essas abelhas contribuem significativamente para a manutenção da biodiversidade e da produtividade agrícola, sendo fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas (ALEEM; HUANG; MILBRATH, 2020). A inclusão dessas espécies nas pesquisas com neonicotinóides é essencial, pois a diversidade de polinizadores contribui significativamente para a estabilidade e produtividade dos ecossistemas agrícolas, além de oferecer serviços ecossistêmicos necessários para a segurança alimentar e a biodiversidade (LUNDIN *et al.*, 2015; CABEZAS; FARINÓS, 2022; OLIVEIRA, *et al.*, 2023).

Diante do exposto, notamos que o uso de agrotóxicos, particularmente neonicotinoides, foi extensivamente estudado em 42 artigos, que analisaram 9 moléculas diferentes (Tabela 1). Esses

pesticidas geraram impactos significativos sobre os polinizadores, como abelhas e outros insetos que desempenham papéis cruciais na manutenção dos ecossistemas e da produção agrícola. Embora os pesticidas sejam frequentemente usados para controlar pragas nas práticas agrícolas, seus efeitos adversos não se restringem às espécies-alvo, mas também afetam plantas benéficas essenciais para a polinização (SHAHMOHAMADLOO; MAIS RÁPIDO; GUZMAN, 2024).

Tabela 1: Número de ocorrências das moléculas citadas nos 42 artigos avaliados.

Moléculas de inseticidas estudadas*				
Imidaclopride	Clotianidina	Tiametoxam	Etião	Hexaflumuron
				
Sulfoxaflor	Acetamipridine	Tiaclopride	Flupiradifurona	
				

* As estruturas moleculares foram retiradas do site Pubchem.

Estudos têm demonstrado que a aplicação desses produtos químicos, especialmente em larga escala, contribui para o declínio das populações de polinizadores, afetando sua saúde, comportamento e capacidade reprodutiva (FAIRBROTHER *et al.*, 2014; ZHOU *et al.*, 2024) (Tabela 2). Assim, a Avaliação de Risco Ecológico (ERA) é uma ferramenta crítica usada para medir a toxicidade de pesticidas, mas tem se mostrado limitada ao uso de espécies substitutas, como a abelha ocidental (*A. mellifera*), que pode não representar significativamente impactos na diversidade de polinizadores no campo. Essa limitação levanta questões sobre a eficácia das regulamentações atuais e a necessidade de reformar os métodos de avaliação para melhor proteger os polinizadores e, consequentemente, garantir a segurança alimentar e a biodiversidade (LEVIN *et al.*, 1989).

Tabela 2. Efeitos dos neonicotinóides nas abelhas

Neonicotinóides	Espécie	Efeitos nas abelhas	Referência
		hiperexcitação	
	<i>Apis mellifera</i>	(não degradação de acetilcolina)	LU <i>et al.</i> (2024)
	<i>Xenoglossa pruinosa</i>	hiperactividade	RONDEAU; CHUVA (2024)
	<i>Trigona spinipes</i>	interferência na capacidade de vôo	CUNHA PEREIRA <i>et al.</i> (2023)
			SHAHMOHAM

	<i>Apis mellifera, Bombus Sp.; Megachile; Melipone; Partamona;</i>	letalidade aguda	ADLOO; MAIS RÁPIDO; GUZMAN (2024)
		Efeitos genéticos	
	<i>Apis mellifera</i>	(desintoxicação processos)	DU <i>et al.</i> (2024)
Imidaclopride	<i>Tetragonisca angustula; Tetragonisca fiebrigi; Tetragonisca weyrauchi</i>	letalidade	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2023)
	<i>Apis mellifera;</i>	redução nas visitas às flores (diminuição no forrageamento)	
	<i>Apis florea;</i>		SALEEM <i>et al.</i> (2023)
	<i>Xylocopa violacea;</i>		
	<i>Xylocopa sarawakensis</i>		
	<i>Apis mellifera;</i>	Estresse sexual (homens)	MCAFEE <i>et al.</i> (2022)
	<i>Apis mellifera</i>	Efeito subletal (fisiológico)	DELKASH-ROUDSARI <i>et al.</i> (2022)
			CABEZAS;
	<i>Bombus terrestris</i>	letalidade aguda	FARINÓS (2022)
			KAUR <i>et al.</i> (2020)
	<i>Apis mellifera;</i>	letalidade	
	<i>Apis cerana cerana</i>	Interferência em habilidade de escalada;	GAO <i>et al.</i> (2020)
		diminuição da capacidade de resposta à sacarose	
	<i>Apis mellifera</i>	letalidade	SALEEM; HUANG; MILBRATH (2020)
			SHAHMOHAM ADLOO;
	<i>Apis mellifera, Bombus Sp.; Megachile; Osmia;</i>	letalidade aguda	MAIS RÁPIDO; GUZMAN (2024)
	<i>Apis mellifera;</i> <i>Apis florea;</i> <i>Xylocopa violacea;</i> <i>Xylocopa sarawakensis</i>	redução nas visitas às flores (diminuição no forrageamento)	SALEEM <i>et al.</i> (2023)
Clotianidina	<i>Apis mellifera</i>	Efeitos genéticos (desintoxicação processos)	DU <i>et al.</i> (2024)
	<i>Apis mellifera</i>	Efeitos genéticos (processos de desintoxicação)	SON <i>et al.</i> (2023)
	<i>Apis mellifera</i>	estresse oxidativo;	ORĆIĆ <i>et al.</i>
		diminuir a imunidade	(2022)
			HARWOOD;
	<i>Apis mellifera</i>	efeitos horméticos	PRAYUGO; DOLEZAL (2022)
			CABEZAS;
	<i>Bombus terrestris</i>	letalidade aguda	FARINÓS (2022)

		Efeitos genéticos	
Sulfoxaflor	<i>Apis mellifera</i>	(desintoxicação processos)	DU <i>et al.</i> (2024)
		efeitos subletais	
		(impressionante, parcial	HELLER <i>et al.</i>
	<i>Apis mellifera</i>	paralisia, contração do abdômen e espasmos)	(2022)
	<i>Apis mellifera</i>	Resistência metabólica	DU <i>et al.</i> (2024)
	<i>Apis mellifera;</i>	redução nas visitas às flores (diminuição no forrageamento)	
	<i>Apis florea;</i>		SALEEM <i>et al.</i>
	<i>Xylocopa violacea;</i>		(2023)
	<i>Xylocopa sarawakensis</i>		
	<i>Apis mellifera, Bombus sp.; Megachile; Scaptotrigona; Tetragonisca</i>	letalidade aguda	SHAHMOHAM ADLOO; MAIS RÁPIDO; GUZMÁN (2024)
		Efeitos genéticos	
	<i>Apis mellifera</i>	(desintoxicação processos)	DU <i>et al.</i> (2024)
Tiametoxam			CRISPIM <i>et al.</i>
	<i>Protopolybia exigua</i>	letalidade	(2023)
	<i>Apis mellifera</i>	Estresse sexual (homens)	MCAFEE <i>et al.</i>
			(2022)
		efeitos subletais	
	<i>Apis mellifera</i>	(cambaleamento, paralisia parcial, contração do abdômen e espasmos)	HELLER <i>et al.</i> (2022)
			SALEEM;
	<i>Apis mellifera;</i>	letalidade	HUANG; MILBRATH (2020)
			SHAHMOHAM
	<i>Apis mellifera, Bombus Sp.; Megachile; Osmia;</i>	letalidade aguda	ADLOO; MAIS RÁPIDO; GUZMAN
			(2024)
Acetamipride	<i>Apis mellifera</i>	Resistência metabólica	DU <i>et al.</i> (2024)
		efeitos subletais	
	<i>Apis mellifera</i>	(cambaleamento, paralisia parcial, contração do abdômen e espasmos)	HELLER <i>et al.</i> (2022)
	<i>Bombus impatiens</i>	aumento/diminuição de machos na colônia	CAMP <i>et al.</i> (2020)
	<i>Bombus terrestris audax</i>	letalidade moderada	REID <i>et al.</i> (2020)
	<i>Apis mellifera</i>	letalidade moderada	YANG <i>et al.</i> (2020)
	<i>Bombus terrestris audax</i>	letalidade moderada	REID <i>et al.</i> (2020)
Tiaclopride	<i>Apis mellifera</i>	estresse oxidativo; diminuir a imunidade	ORČIĆ <i>et al.</i> (2022)
	<i>Apis mellifera;</i>		

	<i>Apis florea;</i> <i>Xylocopa violacea;</i> <i>Xylocopa sarawakensis</i>	redução nas visitas às flores (diminuição no forrageamento)	SALEEM <i>et al.</i> (2023)
Etião	<i>Apis mellifera</i>	efeito subletal (fisiológico)	DELKASH-ROUDSARI <i>et al.</i> (2022)
Hexaflumuron	<i>Apis mellifera</i>	efeito subletal (fisiológico)	DELKASH-ROUDSARI <i>et al.</i> (2022)
Flupiradifurona	<i>Apis mellifera</i>	efeitos horméticos	Harwood; Almostogo; Doléjal (2022)

* com base em artigos usados nesta revisão.

Além disso, a polinização é um serviço ecossistêmico vital, com aproximadamente um terço da produção humana de alimentos diretamente dependente da polinização por animais, especialmente abelhas. Portanto, preservar as populações de polinizadores é essencial não apenas para a saúde do ecossistema, mas também para a sustentabilidade agrícola, conforme indicado por estudos que ligam o declínio dos polinizadores ao aumento da insegurança alimentar e à perda de biodiversidade (KAUR *et al.*, 2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, concluímos que, embora a abelha europeia (*A. mellifera*) tenha sido o foco predominante em estudos sobre os impactos dos neonicotinoides, com 26 ocorrências, há um crescente reconhecimento da importância da investigação de outras espécies nativas e silvestres, como *B. terrestris* e *M. scutellaris*, mencionadas em dois artigos cada.

A diversidade de polinizadores é essencial para a resiliência do ecossistema e a sustentabilidade agrícola, pois os neonicotinóides afetam negativamente não apenas as espécies-alvo, mas também a biodiversidade em geral. Além disso, o texto destaca a necessidade de melhorar as ferramentas de Avaliação de Risco Ecológico (ERA), que atualmente se baseiam em espécies substitutas e não refletem adequadamente os impactos na diversidade de polinizadores.

Diante das evidências apresentadas no estudo desses 42 artigos, nota-se a urgência de reavaliar as práticas agrícolas que dependem de produtos à base de neonicotinoides. Considerando isso, destacamos que uma abordagem promissora envolve o uso de estratégias bioracionais, como a integração de pesticidas seletivos com organismos que podem ser usados em conjunto com agentes biológicos, como predadores naturais, parasitóides, microrganismos, plantas inseticidas, entre outros. Essas combinações têm o potencial de reduzir a dependência de neonicotinóides, promover o equilíbrio ecológico e promover o manejo eficaz de pragas. Além disso, a transição para este tipo de

práticas sustentáveis pode atenuar os impactos negativos nos polinizadores e assegurar a resiliência dos sistemas agrícolas a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ARDESTANI, M. M. A brief overview on the application, potential exposure routes, and the effects of neonicotinoid insecticides on the honey bee pest Varroa mite. In: PROCEEDINGS OF THE ZOOLOGICAL SOCIETY, v. 118, p. 118–126, 2020. New Delhi: Springer India.
- BARGAR, T. A.; HLADIK, M. L.; DANIELS, J. C. Uptake and toxicity of clothianidin to monarch butterflies from milkweed consumption. *PeerJ*, v. 8, e8669, 2020. DOI: 10.7717/peerj.8669.
- BARTLETT, L. J. et al. Neonicotinoid exposure increases *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) mite parasitism severity in honey bee colonies and is not mitigated by increased colony genetic diversity. *Journal of Insect Science*, v. 24, n. 3, p. 20, 2024. DOI: 10.1093/jisesa/ieae021.
- BAYSAL, M.; ATLI-EKLIOĞLU, Ö. Comparison of the toxicity of pure compounds and commercial formulations of imidacloprid and acetamiprid on HT-29 cells: Single and mixture exposure. *Food and Chemical Toxicology*, v. 155, p. 112430, 2021. DOI: 10.1016/j.fct.2021.112430.
- CABEZAS, G.; FARINÓS, G. P. Sensitivity of buff-tailed bumblebee (*Bombus terrestris* L.) to insecticides with different mode of action. *Insects*, v. 13, n. 2, p. 184, 2022. DOI: 10.3390/insects13020184.
- CAMP, A. A. et al. Effects of the neonicotinoid acetamiprid in syrup on *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) microcolony development. *PloS One*, v. 15, n. 10, e0241111, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0241111.
- CECALA, J. M.; WILSON RANKIN, E. E. Pollinators and plant nurseries: How irrigation and pesticide treatment of native ornamental plants impact solitary bees. *Proceedings of the Royal Society B*, v. 288, n. 1955, p. 20211287, 2021. DOI: 10.1098/rspb.2021.1287.
- CRISPIM, P. D. et al. Lethal and sublethal dose of thiamethoxam and its effects on the behavior of a non-target social wasp. *Neotropical Entomology*, v. 52, n. 3, p. 422–430, 2023. DOI: 10.1007/s13744-023-01045-5.
- CUNHA PEREIRA, R. et al. The stingless bee *Trigona spinipes* (Hymenoptera: Apidae) is at high risk from a range of insecticides via direct ingestion and trophallaxis. *Pest Management Science*, v. 80, n. 4, p. 2188–2198, 2024. DOI: 10.1002/ps.7967.
- DE MONTAIGU, C. T.; GOULSON, D. Identifying agricultural pesticides that may pose a risk for birds. *PeerJ*, v. 8, e9526, 2020. DOI: 10.7717/peerj.9526.
- DELKASH-ROUDSARI, S. et al. Side effects of imidacloprid, ethion, and hexaflumuron on adult and larvae of honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Apidologie*, v. 53, n. 1, p. 17, 2022. DOI: 10.1007/s13592-021-00880-6.
- DOUGLAS, M. R.; TOOKER, J. F. Large-scale deployment of seed treatments has driven rapid increase in use of neonicotinoid insecticides and preemptive pest management in US field crops. *Environmental Science & Technology*, v. 49, n. 8, p. 5088–5097, 2015. DOI: 10.1021/es506141g.

DU, Y. et al. Biochemical and molecular characterization of neonicotinoids resistance in the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, v. 275, p. 109765, 2024. DOI: 10.1016/j.cbpc.2023.109765.

FAIRBROTHER, A. et al. Risks of neonicotinoid insecticides to honeybees. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 33, n. 4, p. 719–731, 2014. DOI: 10.1002/etc.2527.

GAO, J. et al. Physiological analysis and transcriptome analysis of Asian honey bee (*Apis cerana cerana*) in response to sublethal neonicotinoid imidacloprid. Insects, v. 11, n. 11, p. 753, 2020. DOI: 10.3390/insects11110753.

GOULSON, D.; THOMPSON, J.; CROOMBS, A. Rapid rise in toxic load for bees revealed by analysis of pesticide use in Great Britain. PeerJ, v. 6, e5255, 2018. DOI: 10.7717/peerj.5255.

GUO, Y. et al. Bio-based clothianidin-loaded solid dispersion using composite carriers to improve efficacy and reduce environmental toxicity. Pest Management Science, v. 77, n. 11, p. 5246–5254, 2021. DOI: 10.1002/ps.6535.

HARWOOD, G. P.; PRAYUGO, V.; DOLEZAL, A. G. Butenolide insecticide flupyradifurone affects honey bee worker antiviral immunity and survival. Frontiers in Insect Science, v. 2, p. 907555, 2022. DOI: 10.3389/finsc.2022.907555.

HELLER, S. et al. Toxicity of formulated systemic insecticides used in apple orchard pest management programs to the honey bee (*Apis mellifera* L.). Environments, v. 9, n. 7, p. 90, 2022. DOI: 10.3390/environments9070090.

HUANG, A. et al. The toxicity and toxicokinetics of imidacloprid and a bioactive metabolite to two aquatic arthropod species. Aquatic Toxicology, v. 235, p. 105837, 2021. DOI: 10.1016/j.aquatox.2021.105837.

IBAMA. Relatórios de comercialização de agrotóxicos. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2020. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/>. Acesso em: 9 jan. 2025.

JACOB, C. R. O. Impacto de inseticidas neonicotinoides em abelhas africanizadas e nativas sem ferrão (Hymenoptera: Apoidea): toxicidade, alterações na atividade de locomoção e riqueza de espécies em pomares de citros. 2019. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.

KAUR, S. et al. Impact of type and extent of sugars on the oral toxicity of imidacloprid on honeybees, *Apis mellifera* (Linn.). Journal of Entomological Research, v. 44, n. 4, p. 595–599, 2020. DOI: 10.5958/0974-8172.2020.00104.6.

KOMORI, Y. et al. Functional impact of subunit composition and compensation on *Drosophila melanogaster* nicotinic receptors—targets of neonicotinoids. PLoS Genetics, v. 19, n. 2, p. e1010522, 2023.

LIGONNIERE, S.; RAYMOND, V.; GOVEN, D. Use of double-stranded RNA targeting β 2 divergent nicotinic acetylcholine receptor subunit to control pea aphid *Acyrthosiphon pisum* at larval and adult stages. Pest Management Science, v. 80, n. 2, p. 896–904, 2024.

LIN, C. H. et al. Honey bees and neonicotinoid-treated corn seed: contamination, exposure, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 40, n. 4, p. 1212–1221, 2021.

LU, W. et al. Nicotinic acetylcholine receptor modulator insecticides act on diverse receptor subtypes with distinct subunit compositions. *PLoS Genetics*, v. 18, n. 1, p. e1009920, 2022.

LU, X. et al. Rational design of triazinone derivatives with low bee toxicity based on the binding mechanism of neonicotinoids to *Apis mellifera*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 72, n. 23, 2024.

LUDICKE, J. C.; NIEH, J. C. Thiamethoxam impairs honeybee visual learning, alters decision times, and increases abnormal behaviors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 193, p. 110367, 2020.

LUNDIN, O. et al. Neonicotinoid insecticides and their impacts on bees: a systematic review of research approaches and identification of knowledge gaps. *PLoS One*, v. 10, n. 8, p. e0136928, 2015.

MA, Y. et al. A facile one-pot route to fabricate clothianidin-loaded ZIF-8 nanoparticles with biocompatibility and long-term efficacy. *Pest Management Science*, v. 79, n. 7, p. 2603–2610, 2023.

MATSUDA, K. et al. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. *Trends in Pharmacological Sciences*, v. 22, n. 11, p. 573–580, 2001.

MCAFEE, A. et al. Drone honey bees are disproportionately sensitive to abiotic stressors despite expressing high levels of stress response proteins. *Communications Biology*, v. 5, n. 1, p. 141, 2022.

MEDINA, A. M. B. Análise de resíduos de neonicotinóides no pólen forrageado e em tecidos das espécies de abelhas *Apis mellifera* africanizada e *Tetragonisca angustula* Latreille (1811). 2021. Tese (Doutorado em Química Analítica e Inorgânica) – Instituto de Química de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos. DOI: 10.11606/T.75.2021.tde-30062021-154020. Acesso em: 17 set. 2024.

MEDRZYCHI, P. et al. Effects of imidacloprid administered in sub-lethal doses on honey bee behaviour. *Laboratory test. Bulletin of Insectology*, v. 56, n. 1, p. 59–62, 2003.

MEIKLE, W. G. et al. Traces of a neonicotinoid pesticide stimulate different honey bee colony activities, but do not increase colony size or longevity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 231, p. 113202, 2022.

MULVEY, J.; CRESSWELL, J. E. Time-dependent effects on bumble bees of dietary exposures to farmland insecticides (imidacloprid, thiamethoxam and fipronil). *Pest Management Science*, v. 76, n. 8, p. 2846–2853, 2020.

OLIVEIRA, A. A. et al. Correction to: Toxicity of imidacloprid for stingless bees of the genus *Tetragonisca* (Meliponini). *Apidologie*, v. 55, n. 1, p. 7, 2024.

ORČIĆ, S. M. et al. Acute toxicity of sublethal concentrations of thiacloprid and clothianidin to immune response and oxidative status of honey bees. *Apidologie*, v. 53, n. 4, p. 50, 2022.

PEREIRA, N. C.; DINIZ, T. O.; TAKASUSUKI, M. C. C. R. Sublethal effects of neonicotinoids in bees: a review. *Scientific Electronic Archives*, v. 13, n. 7, p. 142–152, 2020.

PEREIRA, R. C. et al. The stingless bee *Trigona spinipes* (Hymenoptera: Apidae) is at risk from a range of insecticides via direct ingestion and trophallactic exchanges. Pest Management Science, v. 80, n. 4, p. 2188–2198, 2024.

PROUTY, C. et al. Host plant species mediates impact of neonicotinoid exposure to monarch butterflies. Insects, v. 12, n. 11, p. 999, 2021.

REID, R. J. et al. Assessing the acute toxicity of insecticides to the buff-tailed bumblebee (*Bombus terrestris audax*). Pesticide Biochemistry and Physiology, v. 166, p. 104562, 2020.

RONDEAU, S.; RAINÉ, N. E. Single and combined exposure to ‘bee safe’ pesticides alter behaviour and offspring production in a ground-nesting solitary bee (*Xenoglossa pruinosa*). Proceedings of the Royal Society B, v. 291, n. 2019, p. 20232939, 2024.

ROSA-FONTANA, A. S. et al. Is the water supply a key factor in stingless bees’ intoxication? Journal of Insect Science, v. 20, n. 6, p. 26, 2020.

ROTHMAN, J. A. et al. The direct and indirect effects of environmental toxicants on the health of bumblebees and their microbiomes. Proceedings of the Royal Society B, v. 287, n. 1937, p. 20200980, 2020.

RUNDLÖF, M. et al. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. Nature, v. 521, n. 7550, p. 77–80, 2015.

SALEEM, M. S. et al. Neonicotinoid pesticide applications affect pollinator abundance and visitation, leading to implications for sunflower production (*Helianthus annuus L.*). Cogent Food & Agriculture, v. 9, n. 1, p. 2258773, 2023.

SALEEM, M. S.; HUANG, Z. Y.; MILBRATH, M. O. Neonicotinoid pesticides are more toxic to honey bees at lower temperatures: implications for overwintering bees. Frontiers in Ecology and Evolution, v. 8, p. 556856, 2020.

SALEEM, M. S.; HUANG, Z. Y.; MILBRATH, M. O. Neonicotinoid pesticides are more toxic to honey bees at lower temperatures: implications for overwintering bees. Frontiers in Ecology and Evolution, v. 8, p. 556856, 2020.

SAMSON-ROBERT, O. et al. Planting of neonicotinoid-coated corn raises honey bee mortality and sets back colony development. PeerJ, v. 5, p. e3670, 2017.

SHAHMOHAMADLOO, R. S.; TISSIER, M. L.; GUZMAN, L. M. Risk assessments underestimate threat of pesticides to wild bees. Conservation Letters, v. 17, n. 4, p. e13022, 2024.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. Abelhas brasileiras: Sistemática e identificação. 1. ed. Belo Horizonte: Fundação Araucária, 2002. 253 p.

SOARES, J. B. C. Toxicidade de inseticidas neonicotinoides sobre abelhas *Apis mellifera L.* (africanizadas). 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2016.

SON, M. et al. Effects of clothianidin pesticide application on the strength of honey bee colonies and stress-related genes in the vicinity of rice fields in the Republic of Korea. *Diversity*, v. 15, n. 12, p. 1217, 2023.

TOMIZAWA, M.; CASIDA, J. E. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, v. 45, n. 1, p. 247–268, 2005.

TSVETKOV, N. et al. Chronic exposure to neonicotinoids reduces honey bee health near corn crops. *Science*, v. 356, n. 6345, p. 1395–1397, 2017.

WARE, G. W.; WHITACRE, D. M. Uma introdução aos inseticidas. 6. ed. The pesticide book, 2004.

WERNECKE, A.; CASTLE, D. Effects of tank mixtures of plant protection products on honey bees and possible physiological interactions. *Journal of Cultivated Plants*, 2020.

WOOD, T. J.; GOULSON, D. The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post 2013. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 17285–17325, 2017.

WOODCOCK, B. A. et al. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*, v. 356, n. 6345, p. 1393–1395, 2017.

WU, C. et al. Effects of imidacloprid, a neonicotinoid insecticide, on the echolocation system of insectivorous bats. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 163, p. 94–101, 2020.

YANG, Y. et al. Acute and chronic toxicity of acetamiprid, carbaryl, cypermethrin and deltamethrin to *Apis mellifera* larvae reared in vitro. *Pest Management Science*, v. 76, n. 3, p. 978–985, 2020.

ZHANG, X. et al. Design, synthesis, and synergistic activity of eight-membered oxabridge neonicotinoid analogues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 69, n. 10, p. 3005–3014, 2021.

ZHOU, C. et al. Computational modeling-oriented substructure splicing application in the identification of thiazolidine derivatives as potential low honeybee toxic neonicotinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2024.