

O Zumbido do Alerta: Toxicologia aplicada à apicultura e o papel da Medicina Veterinária na proteção das colmeias e segurança do mel

João Vitor Singolani Gazola¹; Isis Machado Hueza²; Silvana Lima Górnaiak³

¹Acadêmico de Medicina Veterinária da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Universidade de São Paulo (USP).

²Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) – Campus Diadema, Instituto de Ciências Ambientais Químicas e Farmacêuticas (ICAQF), Departamento de Ciências Farmacêuticas.

³Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), Departamento de Patologia.

Contato: (11) 3091-7693.



Foto: Criação Ivete Silva, com Gemini.

Resumo: A toxicologia aplicada à apicultura pode auxiliar os pesquisadores na busca de compreender como agentes toxicantes afetam o comportamento das abelhas, com objetivo de propor modelos capazes de avaliar o grau de comprometimento das colônias, evitando que o mel contaminado alcance a alimentação humana e contribuindo diretamente para manutenção da saúde em um contexto “Uma Só Saúde” (*One Health*). Neste artigo são discutidos aspectos que envolvem a segurança do mel e, com isso, promove também a sustentabilidade dos sistemas produtivos e a saúde coletiva, reafirmando o papel da Medicina Veterinária na interface entre ciência, ambiente e sociedade.

Palavras-chave: apicultura, toxicologia, contaminação do mel, segurança dos alimentos

Introdução

O crescimento populacional mundial impõe a necessidade de intensificar a produção de alimentos para suprir a fome global. Nesse contexto, ferramentas capazes de potencializar a produtividade das culturas agrícolas tornam-se cada vez mais necessárias e, ao mesmo tempo, devem estar alinhadas às políticas de sustentabilidade que regem o agronegócio mundial. Entre as alternativas eficazes, a produção apícola desempenha papel central, graças ao serviço de polinização prestado pelas abelhas nas áreas onde forrageiam, que contribui significativamente para o aumento da produtividade e da qualidade das culturas alcançadas. Diante dessa realidade, muitos produtores agrícolas passaram a implementar

colmeias em suas propriedades, obtendo lucro tanto pelo incremento da produção, quanto pela comercialização dos produtos apícolas, especialmente do mel. Entretanto, o emprego crescente de praguicidas, para uso vegetal e animal, nessas mesmas áreas, expõe as abelhas a essas substâncias, muitas delas, reconhecidamente nocivas. Além disso, outros fatores de risco frequentemente passam despercebidos, como a presença de espécies vegetais produtoras de fitotoxinas na flora local, capazes de provocar danos tanto às abelhas, que coletam o néctar contaminado com a toxina, quanto ao ser humano exposto ao mel produzido por estes insetos. Nesse cenário, pesquisadores têm buscado compreender como agentes toxicantes afetam o comportamento das abelhas, com objetivo de propor modelos capazes de avaliar o grau de comprometimento das colônias, evitando que o mel contaminado alcance a alimentação humana, contribuindo diretamente para manutenção da saúde em um contexto “Uma Só Saúde” (*One Health*).

Instalação de colmeias de abelhas em meio ao uso intensivo de praguicidas

Apesar dos inúmeros benefícios, ecológicos e agrícolas, proporcionados pelas abelhas, observa-se um aumento expressivo da comercialização de praguicidas destinados às propriedades rurais. De fato, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama) (Brasil, 2024b), aproximadamente 160 mil toneladas de praguicidas foram comercializadas no Brasil em 2000, número que saltou para 755 mil toneladas em 2023. Esse cenário evidencia que as abelhas introduzidas em áreas agrícolas

estão inevitavelmente expostas a praguicidas durante o forrageamento, sendo a ingestão de resíduos presentes no pólen e no néctar de plantas contaminadas a principal via de exposição. Esses contaminantes são transportados para a colmeia e posteriormente armazenados junto ao mel e ao pão de abelha (bee bread), um alimento altamente nutritivo produzido pelas abelhas a partir do pólen das flores, responsável por fornecer proteína e nutrientes essenciais à colônia. Estudos têm demonstrado a presença de diversos tipos de praguicidas nesses produtos, tanto concentrações capazes de provocar a mortalidade das abelhas, como concentrações que promovem efeitos subletais, causando redução da capacidade de forrageamento, maior suscetibilidade a doença e enfraquecimento das colônias (Démarets *et al.*, 2022; Hester *et al.*, 2023).

Um dos casos mais emblemáticos de intoxicação de abelhas no Brasil ocorreu em 2023, no município de Sorriso, no estado do Mato Grosso, quando foi registrado um grave episódio de mortalidade associado ao uso inadequado do inseticida fipronil, aplicado por aeronaves, que resultou na mortalidade de mais de 100 milhões de abelhas (O Documento, 2023). Esse produto pertence à classe dos fenilpirazóis, que atua no sistema nervoso central de insetos, bloqueando os canais de cloro mediados pelo neurotransmissor ácido gama-aminobutírico (GABA), o que resulta na hiperexcitação neuronal e morte, sendo por isso conhecido como “matador de abelhas”, devido à sua capacidade de provocar a morte de mais de 50% da colônia em apenas 24 a 48 horas de exposição. Diante da magnitude dos impactos observados, em janeiro de 2024, o Ibama proibiu seu uso em aplicações por pulverização não direcionado ao solo ou às plantas, bem como em pulverizações aéreas, visando a minimizar os efeitos adversos sobre abelhas e outros insetos polinizadores (Brasil, 2024a).

A flora ambiental da propriedade receptora de colônias influencia a segurança do mel

De fato, os praguicidas representam substâncias problemáticas para as abelhas, visto que muitos deles afetam diretamente o sistema nervoso, o comportamento e/ou a capacidade de navegação desses insetos. Entretanto, o risco às abelhas não se limita às substâncias sintéticas. Diversas plantas produzem fitotoxinas, como alcaloides, terpenóides, glicosídeos e tantos outros compostos que atuam como defesa contra insetos herbívoros, mas que, para abelhas e outros insetos polinizadores, podem representar uma fonte relevante de risco à saúde e sobrevivência.

Nesse contexto, torna-se fundamental considerar que esses compostos vegetais podem ser transferidos aos produtos apícolas, especialmente ao mel, cuja composição reflete diretamente a origem floral do néctar coletado. O mel, produzido pelas abelhas, é um alimento natural, composto principalmente por açúcares, água, aminoácidos, proteínas, ácidos orgânicos, flavonoides, vitaminas e minerais. Sua composição, cor, aroma e sabor dependem, sobretudo, da

origem floral (Samarghandian *et al.*, 2017). Sabendo que o mel é obtido a partir do néctar das flores, é importante considerar que essa substância pode conter compostos produzidos pelas plantas como mecanismos de defesa frente a estressores bióticos ou abióticos. Esses compostos, denominados metabólitos secundários, podem apresentar toxicidade tanto para o consumidor quanto, em alguns casos, para as próprias abelhas. Um clássico exemplo é a produção do “Mel Louco” por abelhas *Apis laboriosa* nos sopés do Himalaia, as quais forrageiam plantas do gênero *Rhododendron*, da família Ericaceae, como *R. arboreum* e *R. luteum*. Essas plantas produzem grayanotoxinas, diterpenos policíclicos que são incorporados ao mel, mas não afetam as abelhas produtoras, e sim os animais ou seres humanos que o consomem. As grayanotoxinas atuam em canais de sódio voltagem-dependente de membranas excitáveis, como neurônios, fibras musculares esqueléticas e fibras cardíacas, levando a diversos efeitos, inclusive vertigens e alucinações. Por essa razão, o produto é comercializado em alguns países com finalidade recreativa (Ott, 1998; Silici, Atayoglu, 2015).

Outras fitotoxinas que podem estar presentes no mel são os alcaloides pirrolizidínicos (APs), os quais merecem atenção especial em função de sua relevância para a saúde humana. Esses metabólitos secundários, apresentam efeitos hepatotóxicos e genotóxicos, amplamente documentados (Haas, 2025). Entre as plantas produtoras de APs, destacam-se, no Brasil, espécies do gênero *Senecio* e *Crotalaria*, ambas reconhecidas pelo potencial tóxico de seus metabólitos secundários. As espécies do gênero *Senecio*, pertencentes à família Asteraceae, são reconhecidas como invasoras e possuem ampla distribuição no Sul do país. Um exemplo de grande relevância é o *Senecio brasiliensis*, responsável pela produção de senecionina, um dos principais APs associados a quadros de intoxicação em animais de produção.

Já as leguminosas do gênero *Crotalaria*, pertencentes à família Fabaceae, também são fontes importantes de APs, destacando-se a *Crotalaria spectabilis*, produtora de monocrotalina. Diferentemente do *Senecio*, essas leguminosas são amplamente empregadas em razão de sua elevada capacidade de fixação de nitrogênio no solo, processo denominado de adubação verde, e ao efeito no controle de nematódeos, sendo por esta razão, cultivadas em grandes extensões de terra (Cesar *et al.*, 2011). Contudo, o cultivo extensivo e o manejo inadequado dessas plantas elevam o risco de exposição de animais domésticos e silvestres aos compostos tóxicos que produzem.

Diferente das grayanotoxinas, que não induzem efeitos tóxicos em *Apis laboriosa* (abelha gigante do Himalaia), os impactos dos APs sobre abelhas permanecem pouco elucidados. Considerando sua reconhecida toxicidade para mamíferos, estima-se que a exposição crônica aos APs, quando incorporados à dieta das abelhas e das crias, tenha potencial para comprometer a atividade locomotora, o desempenho cognitivo e a eficiência produtiva da colônia, contribuindo para seu enfraquecimento ou colapso. Paralelamente, o néctar proveniente dessas plantas constitui

substrato para a síntese do mel, possibilitando a contaminação direta do produto final. O mel, destinado ao consumo humano, pode representar uma via de exposição aos APs, o que configura uma importante preocupação relacionada à saúde pública e à segurança dos alimentos. Esses compostos, sendo incorporados ao mel, quando ingeridos, são biotransformados no fígado em metabólitos altamente reativos, capazes de induzir lesões hepáticas graves, como doença veno-oclusiva, fibrose e até mesmo carcinogênese. A grande preocupação das autoridades sanitárias é a ingestão contínua, em pequenas quantidades em um período de tempo prolongado, especialmente entre crianças, já que nessa faixa etária, o sistema enzimático hepático responsável pela bioativação e detoxificação de xenobióticos apresenta imaturidade funcional, o que pode favorecer a formação e o acúmulo de metabólitos pirrólicos reativos, potencialmente genotóxicos e hepatotóxicos. Além disso, a ingestão alimentar proporcionalmente superior por unidade de massa corporal aumenta a dose efetiva absorvida, ampliando o risco de efeitos adversos. Dessa forma, o monitoramento dos teores de APs no mel e em outros produtos apícolas é essencial para garantir a segurança do alimento. Órgãos internacionais como a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA – *European Food Safety Authority*) e o *Codex Alimentarius* recomendam limites máximos e controle da origem floral da produção, reforçando a importância das boas práticas e da rastreabilidade na cadeia produtiva (*Food Supplements Europe*, 2021; *Codex Alimentarius*, 2014).

Embora existam estratégias para reduzir a exposição aos APs, sua adoção em larga escala é inviável no Brasil. O país abriga grande diversidade de espécies produtoras desses compostos, distribuídas em extensas áreas, o que torna impraticável tanto o controle mecânico, como a remoção manual das plantas, quanto o biológico, com o uso de ovinos (Soares *et al.*, 2000; Bandarra *et al.*, 2012). Mesmo que esses animais apresentem maior resistência à senecionina, devido à menor geração de metabólitos pirróis e maior capacidade de conjugação com glutathione, além de particularidades da microbiota ruminal (Huan *et al.*, 1998; Craig *et al.*, 1992), tais medidas seriam economicamente e logisticamente inviáveis em sistemas de produção pecuária de grande extensão, como é o caso de nosso país. Na apicultura, essas estratégias são ainda menos aplicáveis. As abelhas exploram amplas áreas de forrageamento e visitam diversas espécies floríferas simultaneamente, impossibilitando o controle das fontes vegetais contendo APs. Assim, a prevenção da contaminação do mel e a proteção das colmeias dependem menos do manejo das plantas e mais de ações de vigilância, zoneamento apícola e monitoramento da segurança do alimento e da saúde das abelhas.

Desafios para garantir a segurança do mel e a busca por modelos capazes de identificar colmeias intoxicadas

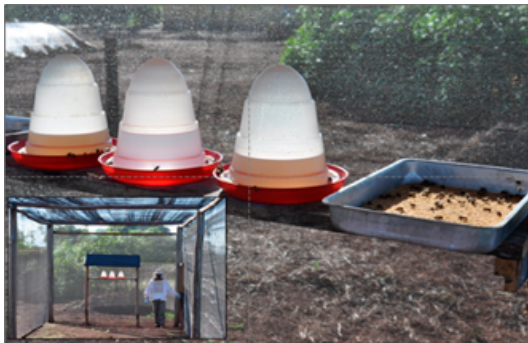
Conforme discutido, durante o forrageamento, as abelhas estão inevitavelmente expostas a agentes tóxicos, sejam eles de origem sintética ou natural. Essa exposição pode comprometer seu comportamento cognitivo, sua capacidade locomotora e de forma preocupante, a segurança do mel produzido e destinado ao consumo humano. Contudo, o sistema de inspeção de produtos e alimentos de origem animal ainda carece de modelos robustos e bem fundamentados para avaliação de colmeias impactadas por tais agentes, o que dificulta a implementação de estratégias para detecção prévia de intoxicações nos apiários comerciais.

Com intuito de suprir essa lacuna, pesquisadores do Centro de Pesquisa em Toxicologia Veterinária (CEPTOX-FMVZ/USP) e do Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas (ICAQF/Unifesp) vêm desenvolvendo modelos experimentais para a avaliação integrada da saúde das abelhas e das colônias. Esses modelos permitem analisar parâmetros comportamentais e fisiológicos, como memória, aprendizado, orientação espacial, locomoção e imunidade social, permitindo identificar alterações individuais e coletivas, associadas à exposição a diferentes substâncias químicas. Esses estudos permitirão entender como esses compostos interferem não somente na saúde e desempenho das abelhas operárias, mas também na dinâmica e vitalidade da colônia como unidade biológica.

Em outro tipo de estudo, também conduzido por nosso grupo, foi desenvolvido um sistema de confinamento de abelhas em um apiário fechado, projetado para estudos controlados de exposição a agentes tóxicos (Figura 1). As colônias, saudáveis e fortes, são mantidas em colmeias de madeiras com caixa de crias e de mel. Dentro do recinto, as abelhas são posicionadas em local oposto à fonte de alimento, de modo a estimular o voo contínuo. A alimentação artificial – elaborada com base na dieta natural (néctar e pólen), inclui xarope de sacarose, glicose e frutose, além de ração composta por pólen e farelos vegetais –, é fornecida em alimentadores protegidos contra sol e chuva (Figura 2). Os ensaios experimentais consistem na adição de concentrações conhecidas de agentes tóxicos ao xarope e ao mel, por dez dias consecutivos, permitindo avaliar de forma padronizada os efeitos dessas substâncias sobre as colônias confinadas. Estudos iniciais já demonstraram que compostos presentes no néctar fornecido a abelhas em confinamento podem ser detectados no mel produzido pela colônia, sugerindo que o mesmo possa ocorrer com praguicidas e metabólitos secundários produzidos por plantas. Portanto, esse sistema implantado permite simular condições ambientais de forma segura e reprodutível, possibilitando a mensuração dos efeitos subletais e comportamentais das substâncias químicas sobre as abelhas, bem como a detecção de resíduos nos produtos apícolas.

Figura 1 – Sistema de confinamento em apiário fechado.

Fonte: Autoral.

Figura 2 – Área de alimentação artificial, em confinamento.

Fonte: Autoral.

Conclusão

Em síntese, compreender a toxicologia aplicada à apicultura é fundamental para saúde pública, animal e ambiental. As pesquisas nessa área, alinhadas aos princípios do conceito “Uma Só Saúde” (*One Health*), integram ações voltadas à produção de alimentos seguros, à prevenção da saúde das abelhas e à proteção dos ecossistemas. O mel, mais do que um alimento, representa um elo entre a natureza e o bem-estar humano, fonte de energia, propriedades terapêuticas e valor simbólico de equilíbrio entre produção e conservação. Assim, promover a segurança do mel é também promover sustentabilidade dos sistemas produtivos e a saúde coletiva, reafirmando o papel da Medicina Veterinária na interface entre ciência, ambiente e sociedade.

Referências

- BANDARRA, P. M. et al. Sheep production as a *Senecio* spp. control tool. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 32, n. 10, p. 1017-1022, 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Ibama restringe uso de agrotóxico prejudicial a abelhas**. Brasília, DF: MMA, 24 fev. 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/ibama-restringe-uso-de-agrotoxico-prejudicial-a-abelhas>. Acesso em: 3 out. 2025.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Brasília, DF: Ibama, 27 dez. 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 29 out. 2025.
- CESAR, M. N. Z. et al. Performance de adubos verdes cultivados em duas épocas do ano no Cerrado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 2, p. 159-169, 2011. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49230>. Acesso em: [inserir data].
- CODEX ALIMENTARIUS. **Code of practice for weed control to prevent and reduce pyrrolizidine alkaloid contamination in food and feed (CAC/RCP 74-2014)**. [S. l.]: FAO: WHO, 2014.
- CRAIG, A. M. et al. Metabolism of toxic pyrrolizidine alkaloids from tansy ragwort (*Senecio jacobaea*) in ovine ruminal fluid under anaerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 58, n. 9, p. 2730-2736, 1992. DOI: 10.1128/aem.58.9.2730-2736.1992.
- DÉMARES, F. J. et al. 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: 10.1002/etc.5298.
- FOOD SUPPLEMENTS EUROPE. **Guidelines and recommendations to reduce the presence of pyrrolizidine alkaloids in food supplements**: Addendum to the Food Supplements Europe Guidelines on Quality of Botanical Preparations. [S. l.]: FSE, May 2021.
- HAAS, M. **Investigation of the hepatotoxic potency of selected genotoxic pyrrolizidine alkaloids and the significance of the DNA damage response**. 2025. Tese (Doutorado em [Inserir Área]) - Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Kaiserslautern, 2025.
- HESTER, K. P. et al. Pesticide residues in honey bee (*Apis mellifera*) pollen collected in two ornamental plant nurseries in Connecticut: implications for bee health and risk assessment. **Environmental Pollution**, v. 333, p. 122037, 15 set. 2023. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.122037.
- HUAN, J. Y. et al. Species differences in the hepatic microsomal enzyme metabolism of the pyrrolizidine alkaloids. **Toxicology Letters**, v. 99, n. 2, p. 127-137, 1998. DOI: 10.1016/s0378-4274(98)00152-0.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Venda de agrotóxicos e afins**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/brasil/espaco-economico/agropecuaria/21907-venda-de-agrotoxicos-e-afins>. Acesso em: 13 out. 2025.
- MORTES de abelhas no norte de MT foram causadas por uso irregular de defensivo agrícola. **O Documento**, Cuiabá, 10 ago. 2023. Disponível em: <https://odocumento.com.br/mortes-de-abelhas-no-norte-de-mt-foram-causadas-por-uso-irregular-de-defensivo-agricola/>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- OTT, J. The Delphic bee: bees and toxic honeys as pointers to psychoactive and other medicinal plants. **Economic Botany**, v. 52, p. 260-266, 1998.
- SAMARGHANDIAN, S.; FARKHONDEH, T.; SAMINI, F. Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research. **Pharmacognosy Research**, v. 9, n. 2, p. 121-127, abr./jun. 2017. DOI: 10.4103/0974-8490.204647.
- SILICI, S.; ATAYOGLU, A. T. Mad honey intoxication: A systematic review on the 1199 cases. **Food and Chemical Toxicology**, v. 86, p. 282-290, 2015. DOI: 10.1016/j.fct.2015.10.018.
- SOARES, M. P. et al. Controle biológico de *Senecio* spp. com pastoreio de ovinos. In: REUNIÓN ARGENTINA DE PATOLOGIA VETERINÁRIA, 2., 2000, Corrientes. **Anais [...]**. Corrientes: Universidad Nacional Del Noroeste, 2000. p. 79-80.