

Compostos antimicrobianos em mel de abelha sem ferrão (Meliponíneos): Uma revisão integrativa

Antimicrobial compounds in stingless bee (Meliponini) honey: An integrative review

Compuestos antimicrobianos en miel de abeja sin aguijón (Meliponinos): Una revisión integradora

Recebido: 18/08/2025 | Revisado: 11/09/2025 | Aceitado: 12/09/2025 | Publicado: 13/09/2025

Tatiana Pacheco Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1542-8619>
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil
E-mail: tatiana_pacheco@ufrb.edu.br

Ludmilla Santana Soares e Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4397-1881>
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil
E-mail: barros@ufrb.edu.br

Resumo

O mel de abelhas sem ferrão (*Meliponini*) tem emergido como uma promissora fonte de agentes antimicrobianos naturais. O objetivo desta revisão foi destacar os estudos relacionados aos componentes antimicrobianos de mel de abelha sem ferrão realizados nos últimos anos. Para tal foram consultadas as bases de dados PubMed, SciELO e Google Scholar do período de 2014 a 2025. Os resultados demonstraram que flavonoides (ex.: crisina, quercetina), ácidos fenólicos, peróxido de hidrogênio atuam sinergicamente, rompendo membranas celulares, inibindo síntese proteica e desestabilizando biofilmes bacterianos. Estudos in vitro comprovaram eficácia contra cepas Gram-positivas e Gram-negativas, incluindo espécies resistentes. Entretanto, a variabilidade na composição química, influenciada por fatores geográficos e florais, aliada à ausência de padronização e regulamentação específica, limitam sua aplicação clínica. Conclui-se que, embora o mel de meliponíneos apresente notável potencial como alternativa antimicrobiana, são necessários mais estudos in vivo e o desenvolvimento de protocolos de padronização para viabilizar seu uso terapêutico. Este trabalho reforça a importância da conservação destas espécies de abelhas e da valorização de seus produtos como recursos medicinais sustentáveis.

Palavras-chave: *Meliponini*; Meliponicultura; Produtos Apícolas; Atividade Antimicrobiana; Medicina Tradicional.

Abstract

Stingless bee honey (*Meliponini*) has emerged as a promising source of natural antimicrobial agents. The objective of this review was to highlight studies related to the antimicrobial components of stingless bee honey conducted in recent years. For this purpose, the PubMed, SciELO, and Google Scholar databases were consulted for the period from 2014 to 2025. The results demonstrated that flavonoids (e.g., chrysin, quercetin), phenolic acids, and hydrogen peroxide act synergistically, disrupting cell membranes, inhibiting protein synthesis, and destabilizing bacterial biofilms. In vitro studies proved efficacy against Gram-positive and Gram-negative strains, including resistant species. However, variability in chemical composition, influenced by geographical and floral factors, coupled with the lack of standardization and specific regulation, limits its clinical application. It is concluded that, although stingless bee honey shows remarkable potential as an antimicrobial alternative, further in vivo studies and the development of standardization protocols are needed to enable its therapeutic use. This work reinforces the importance of the conservation of these bee species and the valorization of their products as sustainable medicinal resources.

Keywords: *Meliponini*; Meliponiculture; Bee Products; Antimicrobial Activity; Traditional Medicine.

Resumen

La miel de abejas sin aguijón (*Meliponini*) ha surgido como una prometedora fuente de agentes antimicrobianos naturales. El objetivo de esta revisión fue destacar los estudios relacionados con los componentes antimicrobianos de la miel de abeja sin aguijón realizados en los últimos años. Para ello, se consultaron las bases de datos PubMed, SciELO y Google Scholar del período comprendido entre 2014 y 2025. Los resultados demostraron que los flavonoides (ej.: crisina, quercetina), los ácidos fenólicos y el peróxido de hidrógeno actúan sinérgicamente, rompiendo membranas celulares, inhibiendo la síntesis proteica y desestabilizando biopelículas bacterianas. Estudios in vitro comprobaron su eficacia contra cepas Gram positivas y Gram negativas, incluidas especies resistentes. Sin embargo, la variabilidad en la composición química, influenciada por factores geográficos y florales, sumada a la ausencia de estandarización y regulación específica, limitan su aplicación clínica. Se concluye que, aunque la miel de meliponinos presenta un notable

potencial como alternativa antimicrobiana, son necesarios más estudios in vivo y el desarrollo de protocolos de estandarización para viabilizar su uso terapéutico. Este trabajo refuerza la importancia de la conservación de estas especies de abejas y de la valorización de sus productos como recursos medicinales sostenibles.

Palabras clave: *Meliponini*; Meliponicultura; Productos Apícolas; Actividad Antimicrobiana; Medicina Tradicional.

1. Introdução

As abelhas sem ferrão (*Meliponini*), nativas do Brasil, representam um grupo de polinizadores essenciais para a manutenção dos ecossistemas tropicais e subtropicais (Barbiéri & Franco, 2020). Denominadas popularmente como jataí, mandaçaia ou urucu, essas abelhas caracterizam-se pela ausência de ferrão funcional, o que as diferencia das abelhas africanizadas (*Apis mellifera*) e facilita seu manejo (Witter & Nunes-Silva, 2014). Estudos recentes destacam seu papel crucial como agentes polinizadores em áreas naturais e agrícolas, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e manutenção da biodiversidade (Polatto et al., 2025).

No entanto, a criação de abelhas sem ferrão ainda é pouco difundida no Brasil e enfrenta diversos desafios, como a falta de conhecimento técnico por parte dos produtores, a escassez de recursos financeiros e a destruição de habitats naturais (Carneiro et al., 2019). A perda de habitats devido ao desmatamento, o uso indiscriminado de agrotóxicos e a competição com espécies exóticas comprometem a conservação dessas abelhas (Nether et al. 2019). Por isso, é importante que sejam tomadas medidas para promover a conservação dessas espécies e incentivar a criação sustentável de abelhas sem ferrão no país (Barbiéri & Franco, 2020).

O mel produzido por essas espécies apresenta características físico-químicas distintas quando comparado ao mel convencional, com maior acidez, umidade e perfil sensorial único (Andrade et al., 2022). Pesquisas demonstram que essas propriedades estão diretamente relacionadas a sua composição bioativa, que inclui compostos fenólicos, flavonoides e enzimas específicas (Ávila et al., 2019). A atividade antimicrobiana do mel de meliponíneos tem sido amplamente estudada, sendo atribuída a três fatores principais: a baixa atividade de água, o pH ácido e a presença de peróxido de hidrogênio produzido pela ação enzimática (Roós et al., 2018; Andrade et al., 2022).

Desta forma o objetivo desta revisão foi destacar os estudos relacionados aos componentes antimicrobianos de mel de abelha sem ferrão realizados nos últimos anos. Para tal foram consultadas as bases de dados PubMed, SciELO e Google Scholar do período de 2014 a 2025.

2. Metodologia

Realizou-se uma revisão de natureza quantitativa em relação à quantidade de artigos selecionados para o estudo e, qualitativa em relação à análise realizada nos artigos selecionados (Pereira et al., 2018).

Esta revisão adotou uma abordagem integrativa da literatura, método que permite a síntese de evidências provenientes de diferentes delineamentos de pesquisa (estudos experimentais, observacionais e revisões sistemáticas) para uma compreensão abrangente do tema investigado (Souza et al., 2010). O processo metodológico combinou estratégias tradicionais de revisão com ferramentas de inteligência artificial para otimizar a compilação e análise dos dados, seguindo as etapas principais descritas a seguir.

A estratégia de busca foi realizada nas bases PubMed, SciELO e Google Scholar, abrangendo o período de janeiro de 2014 a agosto de 2025, utilizando os descritores controlados: "stingless bee honey", "meliponini", "antimicrobial compounds", "antibacterial activity", "phenolic compounds", "hydrogen peroxide" e seus equivalentes em português (Figura 1). Complementando essa busca tradicional, empregou-se a plataforma Consensus (mecanismo de busca acadêmico com IA) para ampliar o rastreamento de artigos relevantes. A IA auxiliou na triagem inicial mediante análise semântica, identificação

automática de artigos-chave e eliminação de duplicatas.

Foram estabelecidos critérios de inclusão rigorosos: (1) estudos originais ou revisões sistemáticas sobre compostos antimicrobianos no mel de Meliponini; (2) pesquisas com dados quantitativos/qualitativos sobre eficácia contra microrganismos patogênicos; (3) publicações em inglês, português ou espanhol. Excluíram-se estudos focados apenas em polinização ou sem metodologia clara para avaliação antimicrobiana. O processo de seleção seguiu o protocolo PRISMA (Page et al., 2021), com triagem por título/resumo e leitura na íntegra dos artigos selecionados.

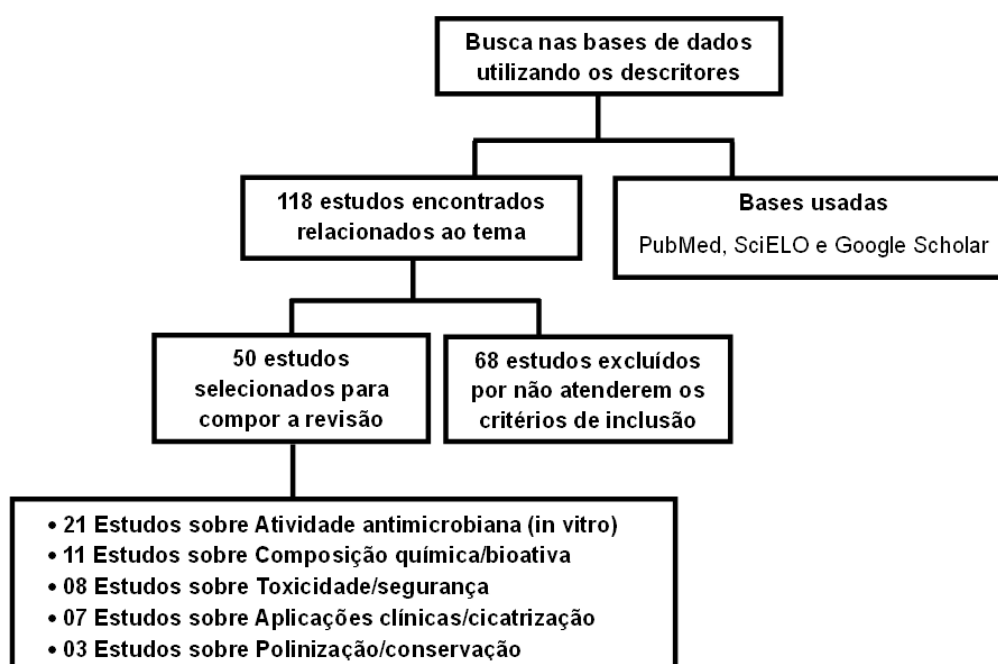
Na fase de análise, adotou-se uma abordagem híbrida: dois pesquisadores independentes realizaram extração manual de dados, enquanto ferramentas de IA processaram os artigos para identificar padrões, tendências temporais e relações entre variáveis. Os dados foram organizados em uma matriz contendo: autores, ano, espécie de abelha, compostos antimicrobianos, microrganismos testados, métodos e resultados principais. A IA auxiliou ainda na geração automática de tabelas comparativas e diagramas de evidências, as quais foram conferidas manualmente.

Para garantir a confiabilidade dos dados apresentados, a revisão adotou medidas rigorosas para mitigar viés algorítmico no uso de IA. Os artigos selecionados por ferramentas de IA foram validados manualmente por dois pesquisadores, com discordâncias resolvidas por consenso. A busca em bases regionais, como a SciELO, complementou a análise, minimizando viés geográfico.

Além disso, a inclusão de estudos com resultados negativos ou neutros evitou a superestimativa da eficácia do mel, assegurando uma avaliação equilibrada. Esta abordagem integrada permitiu processar um volume maior de evidências com maior eficiência, mantendo os padrões acadêmicos da revisão.

A seguir, a Figura 1 apresenta o fluxograma de seleção dos artigos que integram a revisão com seus respectivos quantitativos.

Figura 1 - Fluxograma indicando o processo de buscas nas bases de dados e seleção dos estudos para compor a revisão.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

3. Resultados e Discussão

3.1 Composição Química e Compostos Bioativos do mel de abelha sem ferrão

O mel produzido por abelhas meliponíneas apresenta uma composição química complexa e diversificada, reunindo aproximadamente 200 substâncias distintas que conferem suas propriedades físico-químicas e biológicas únicas (Roós et al., 2018). A composição química desses méis apresenta considerável variabilidade, influenciada por múltiplos fatores, incluindo origem botânica e geográfica, espécie produtora e condições climáticas (Shamsudin et al., 2019).

Esta matriz natural consiste principalmente em uma solução aquosa supersaturada de açúcares, com predominância de frutose e glicose, acompanhadas por oligossacarídeos, polissacarídeos e uma variedade de outros componentes, incluindo enzimas, aminoácidos, ácidos orgânicos, minerais, flavonoides, vitaminas, grãos de pólen e diversos fitoquímicos (Roós et al., 2018).

Os méis de meliponíneos apresentam parâmetros distintivos, como elevada umidade, que pode variar de 25 a 35%. Estudos com *Melipona subnitida* e *Melipona fasciculata* demonstram que a umidade do mel varia conforme a espécie, região e período de coleta, refletindo a influência de fatores ambientais e biológicos na composição físico-química desse produto (Sant'ana et al., 2020).

O mel meliponíneo apresenta características físico-químicas distintas em comparação ao mel de *Apis mellifera*, destacando-se por sua maior fluidez, menor densidade e um perfil sensorial marcante, caracterizado por acidez pronunciada e aroma característico (Roós et al., 2018; Oliveira et al., 2023), além de propriedades antimicrobianas únicas, atribuídas à sua acidez e à presença de ácidos orgânicos, como o glucônico, formado pela ação enzimática durante a maturação do mel (Andrade et al., 2022).

A acidez acentuada dos méis de abelhas sem ferrão, com pH variando entre 3,08 e 4,36 e acidez total entre 17,52 e 132,22 meq.kg⁻¹, desempenha um papel crucial em sua estabilidade microbiológica, inibindo o desenvolvimento de contaminantes. Essa característica, somada à presença de compostos bioativos antioxidantes (9,90–24,20 mg EAG.100g⁻¹ de fenóis totais), reforça a durabilidade e as propriedades funcionais desses méis (Andrade et al., 2024).

A fração bioativa do mel meliponíneo merece especial destaque, sendo composta principalmente por compostos fenólicos (flavonoides e ácidos fenólicos) e melanoidinas, responsáveis por sua marcante atividade antioxidante. Entre os flavonoides identificados destacam-se kaempferol, quercetina, galangina, pinocembrina, luteolina, apigenina, naringenina, isorhamnetina, catequina, rutina, hesperetina, miricetina e crisina, enquanto os ácidos fenólicos incluem derivados como ácido gálico, cafeico, ferúlico, p-cumárico, elágico, vanílico, 3,4-dihidroxibenzoico, clorogênico e sinápico (Sousa et al., 2016; Biluca et al., 2017; Tanleque-Alberto et al., 2020; Miranda et al., 2023; Freitas et al., 2025). Observa-se que méis mais escuros tendem a apresentar maior concentração de compostos fenólicos e, conseqüentemente, maior capacidade antioxidante (Miranda et al., 2023).

O peróxido de hidrogênio (H₂O₂), produto da atividade da enzima glicose oxidase, representa outro importante componente responsável pela atividade antimicrobiana (Roós et al., 2018). A presença de outras enzimas como invertase, diastase, catalase e fosfatase completa o quadro de componentes que conferem a este mel suas distintas propriedades físico-químicas e terapêuticas (Miranda et al., 2023).

Na Tabela 1 estão destacados alguns compostos com atividade antimicrobiana em mel de abelhas sem ferrão, destacando-se as propriedades estudadas e as espécies de abelhas.

Tabela 1 - Compostos antimicrobianos no mel de abelhas sem ferrão.

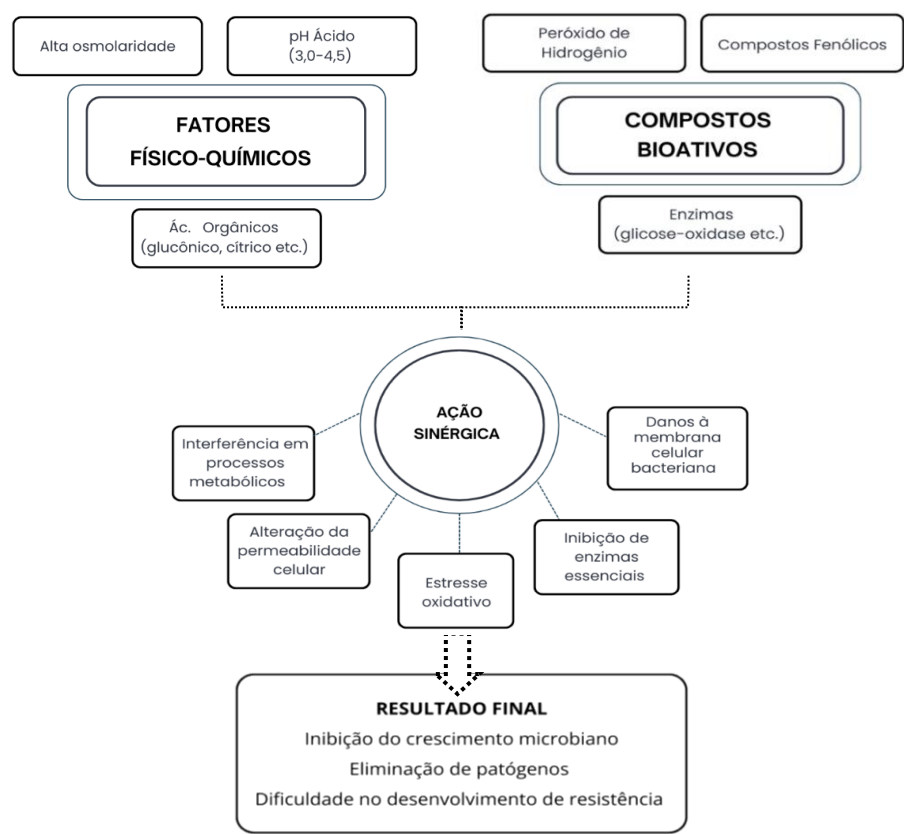
Composto Bioativo	Espécie de Abelha	Propriedades Estudadas	Autores (Ano)
Atividade antioxidante	Meliponíneos (geral)	Fenólicos, flavonoides, capacidade redutora	Carvalho <i>et al.</i> (2021) Miranda <i>et al.</i> , (2023)
Compostos fenólicos e atividade biológica	Meliponíneos (geral)	Atividade antioxidante e antimicrobiana	Biluca <i>et al.</i> (2020)
Compostos fenólicos e flavonoides	<i>Melipona spp.</i>	Atividade antioxidante e anti-inflamatória	Sousa <i>et al.</i> (2016)
Fenóis totais, Flavonoides	<i>Tetragonisca angustula</i>	Antioxidante, antimicrobiana	Roós <i>et al.</i> (2018)
Mel	<i>Melipona scutellaris</i>	Antibacteriana, cicatrizante	Medeiros <i>et al.</i> (2016)
Peróxido	Meliponíneos (geral)	Antimicrobiana, antifúngica	Roós <i>et al.</i> (2018) Silva <i>et al.</i> (2021)
Pólen de abelhas sem ferrão	Meliponíneos (geral)	Antimicrobiana, larvicida	Carneiro <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

3.2 Mecanismos de Ação Antimicrobiana do mel de abelhas sem ferrão

O mel produzido por abelhas meliponíneas tem despertado crescente interesse científico devido aos seus marcantes efeitos antimicrobianos, que resultam da ação sinérgica de múltiplos componentes (Figura 2). Estudos recentes demonstram que esta atividade está associada a fatores físico-químicos intrínsecos e à presença de compostos bioativos específicos (Andrade et al., 2022). A compreensão desses mecanismos é particularmente relevante no contexto atual de crescente resistência aos antimicrobianos convencionais.

Figura 2 - Mecanismos de ação antimicrobiana do mel de meliponíneos.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Um dos principais mecanismos é a alta osmolaridade, decorrente da elevada concentração de açúcares, que reduz a atividade de água e induz a desidratação microbiana. Estudos indicam que, embora esse efeito contribua para a inibição bacteriana, ele não é suficiente sozinho para explicar a potente ação antimicrobiana do mel natural (Nishio et al., 2016).

Outro fator crucial é o pH ácido, geralmente entre 2,8 e 4,5, que inibe o crescimento de microrganismos, uma vez que a maioria das bactérias se adapta melhor as condições próximas à neutralidade (Roós et al., 2018). Essa acidez é amplificada pela presença de ácidos orgânicos, como o ácido glicônico, produzido pela enzima glicose oxidase (Braghini et al., 2022).

A produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é outro mecanismo importante. A glicose oxidase, presente no mel, converte glicose em ácido glicônico e H_2O_2 , um agente antimicrobiano eficaz. No entanto, mesmo em méis com baixos níveis de H_2O_2 , a atividade antibacteriana persiste, sugerindo a contribuição de outros compostos como polifenóis, flavonoides ou peptídeos antimicrobianos (Roós et al. 2018; Jibril et al., 2020).

Além desses fatores, o mel de meliponíneos contém compostos fenólicos e flavonoides que apresentam ação antimicrobiana direta e sinérgica. Esses compostos atuam danificando membranas celulares e inibindo enzimas essenciais para a sobrevivência bacteriana (Andrade et al., 2022).

Devido a essa combinação de mecanismos, o mel de meliponíneos tem sido investigado como uma alternativa promissora no combate a infecções, inclusive aquelas causadas por bactérias resistentes (Oliveira et al., 2020). Seu potencial terapêutico tem sido explorado em formulações para tratamento de feridas, destacando-se como um agente natural com múltiplas aplicações na medicina.

3.3 Eficácia do mel de abelhas sem ferrão contra microrganismos patogênicos

Estudos recentes têm demonstrado a notável eficácia antimicrobiana do mel produzido por abelhas sem ferrão (Meliponini) contra uma ampla gama de microrganismos patogênicos. A atividade antimicrobiana é comumente avaliada através de dois parâmetros fundamentais: a Concentração Inibitória Mínima (CIM) e a Concentração Bactericida Mínima (CBM) (Vazquez-Pertejo & Bush, 2025), que indicam, respectivamente, a menor concentração necessária para inibir o crescimento microbiano e para eliminar efetivamente os microrganismos (Tabela 2).

Pesquisas como as realizadas por Faleiros-Quevedo et al. (2024) revelaram que o mel de espécies como *Melipona rufiventris* e *Scaptotrigona tubiba* apresenta alta atividade antimicrobiana, com valores de CIM significativamente baixos contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. Contra *Staphylococcus aureus*, por exemplo, foram observados valores de CIM tão baixos quanto 6,25% (p/v), demonstrando uma potente ação inibitória. Resultados semelhantes foram reportados por Domingos et al. (2020) em estudos com mel de *Melipona* spp. da Amazônia, que apresentou atividade pronunciada contra cepas de *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, entre outras bactérias.

A eficácia bactericida (CBM) do mel de meliponíneos tem sido particularmente destacada em estudos como o de Villacrés-Granda et al. (2021), que avaliaram 12 espécies de abelhas sem ferrão do Equador. Os pesquisadores observaram que espécies como *Oxytrigona mellaria* e *Trigona silvestriana* foram capazes de eliminar ($CBM \leq 12,5\%$) patógenos multirresistentes, incluindo cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina (MRSA) e *Enterococcus faecalis* resistente à vancomicina (VRE).

Estudos comparativos, como o realizado por Rosli et al. (2020), demonstraram que o mel de meliponíneos frequentemente supera em eficácia o mel de *Apis mellifera* contra patógenos como *Listeria monocytogenes* e *Salmonella typhimurium*, com diferenças de até 40% nos valores de CIM.

Esses achados sustentam o potencial terapêutico do mel de abelhas sem ferrão como agente antimicrobiano natural, particularmente relevante no contexto da crescente resistência aos antibióticos convencionais. Pesquisas futuras devem focar na padronização dos métodos de avaliação e na elucidação dos compostos ativos específicos responsáveis por essa atividade.

A Tabela 2 resume os principais achados da literatura quanto à sensibilidade de diversos microrganismos patogênicos ao mel de abelhas sem ferrão. Os resultados demonstram uma notável eficácia antimicrobiana, com valores de Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM) significativamente baixos, além de halos de inibição expressivos em testes de disco-difusão. Destaca-se a ação contra bactérias multirresistentes, como *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA) e *Enterococcus faecalis* resistente à vancomicina (VRE), reforçando o potencial terapêutico desse produto natural.

Tabela 2 - Sensibilidade microbiana ao mel de meliponíneos.

Microrganismo	Espécie de Abelha	Resultado Halo de Inibição / Atividade	Autores (ano)
<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Melipona rufiventris</i> <i>Scaptotrigona tubiba</i>	Alta atividade antimicrobiana (CIM/CBM)	Faleiros-Quevedo <i>et al.</i> (2024)
Gram-positivos e Gram-negativos multirresistentes	<i>Oxytrigona mellaria</i> <i>Trigona silvestriana</i>	Mais eficazes entre 12 espécies testadas (CBM ≤ 12,5%)	Villacrés-Granda <i>et al.</i> (2021)
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Meliponini</i>	13,3 ± 0,56 mm (maior que <i>Apis</i>)	Jibril <i>et al.</i> (2020)
<i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Meliponina</i>	<i>S. epidermidis</i> : 25-32 mm; <i>P. aeruginosa</i> : 13-16 mm; <i>L. monocytogenes</i> : 14-24 mm	Mohd Hasali <i>et al.</i> (2015)
<i>S. aureus</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Melipona flavolineata</i>	<i>S. aureus</i> : 18,3 ± 0,8 mm, CIM 3,12%; <i>K. pneumoniae</i> : 15,3 ± 0,6 mm, CIM 1,56%	Domingos <i>et al.</i> (2020)
<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Alcaligenes faecalis</i>	<i>Homotrigona fimbriata</i>	<i>S. aureus</i> : 28 ± 0,58 mm, CIM ≤ 3,12% <i>A. faecalis</i> : 21 ± 1,00 mm	Rosli <i>et al.</i> (2020)
<i>S. aureus</i> (MRSA ATCC 43300)	<i>Melipona scutellaris</i>	Redução significativa de UFC/g: 185 ± 41,2 (mel) vs. 1320 ± 225,3 (solução salina) (p < 0.01)	Medeiros <i>et al.</i> (2016)

*CIM (Concentração Inibitória Mínima); CBM (Concentração Bactericida Mínima). Fonte: Dados da pesquisa (2025).

3.4 Aplicações terapêuticas do mel de abelha sem ferrão

O mel produzido por abelhas sem ferrão (*Meliponini*) tem despertado crescente interesse científico devido às suas notáveis propriedades terapêuticas (Rao *et al.*, 2016). Pesquisas recentes destacam seu potencial como agente cicatrizante, antimicrobiano e anti-inflamatório (Tabela 3), posicionando-o como um valioso recurso natural para aplicações médicas e cosméticas como agentes hidratantes e regeneradores (Kurek-Górecka *et al.*, 2020). Sua composição única, rica em compostos fenólicos, enzimas e açúcares especiais, confere uma ação multifatorial que o diferencia do mel convencional (Biluca *et al.*, 2020).

Estudos demonstram que esse tipo de mel exerce potente atividade contra bactérias resistentes, incluindo *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* (Rosli *et al.*, 2020; Domingos *et al.*, 2020), graças a mecanismos combinados como baixo pH, produção de peróxido de hidrogênio e presença de peptídeos antimicrobianos (Roós *et al.* 2018; Jibril *et al.*, 2020).

Essa característica é particularmente relevante no tratamento de feridas infectadas, onde o mel atua não apenas combatendo os microrganismos, mas também reduzindo a inflamação local e estimulando a regeneração tecidual (Jalil *et al.*,

2017). Além disso, sua capacidade de manter um ambiente úmido favorece a migração de células epiteliais, acelerando o fechamento da lesão (Jalil et al., 2025).

O mel demonstra ser uma opção eficaz e segura no tratamento de úlceras do pé diabético devido às suas propriedades antibacterianas e características físico-químicas, citadas anteriormente, que criam um ambiente favorável à cicatrização, acelerando o fechamento da ferida, reduzindo infecções e diminuindo taxas de amputação. Estudos clínicos e em modelos animais destacam sua eficácia, embora a variabilidade entre tipos de mel exija maior padronização para otimizar resultados (Bezerra et al., 2023).

A Tabela 3 sintetiza as principais propriedades terapêuticas do mel de abelhas sem ferrão, com ênfase em suas aplicações no tratamento de feridas e infecções. São elencados os efeitos anti-inflamatórios, antimicrobianos, antioxidantes, cicatrizantes e de hidratação, corroborados por estudos recentes. Essas propriedades, atuando de forma sinérgica, posicionam o mel meliponíneo como um agente promissor para o desenvolvimento de formulações tópicas e estratégias de medicina regenerativa.

Tabela 3 - Propriedades do mel de abelha sem ferrão no tratamento de feridas e infecções.

Propriedade	Efeito/Aplicação	Autores (ano)
Anti-inflamatória	Modula a resposta inflamatória, reduzindo citocinas pró-inflamatórias	Rao <i>et al.</i> (2016)
		Biluca <i>et al.</i> (2020)
		Santos <i>et al.</i> (2021)
Antimicrobiana	Inibe o crescimento de bactérias patogênicas (incluindo <i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> e <i>P. aeruginosa</i>) e biofilmes, mesmo em cepas resistentes	Domingos <i>et al.</i> (2020)
		Rosli <i>et al.</i> (2020)
		Cabezas-Mera <i>et al.</i> (2023)
		Faleiros-Quevedo <i>et al.</i> (2024)
Antioxidante	Reduz o dano oxidativo através da neutralização de radicais livres	Biluca <i>et al.</i> (2017)
		Jalil <i>et al.</i> (2017)
		Al-Hatamleh <i>et al.</i> (2020);
Cicatrizante	Acelera a regeneração tecidual e estimula a angiogênese (formação de novos vasos)	Jalil <i>et al.</i> (2017)
		Jalil <i>et al.</i> (2025)
Hidratação	Mantém ambiente úmido ideal para cicatrização e promove barreira protetora	Jalil <i>et al.</i> (2017)
		Jalil <i>et al.</i> (2025)

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

No campo cosmético, as propriedades antioxidantes e hidratantes do mel de abelha sem ferrão abrem possibilidades para o desenvolvimento de produtos inovadores (Braghini et al., 2022). Sua ação neutralizadora de radicais livres combate o envelhecimento cutâneo (Al-Hatamleh et al., 2020), enquanto os açúcares naturais funcionam como excelentes umectantes. Formulações como hidrogéis enriquecidos com esse mel já mostraram resultados promissores em testes pré-clínicos (Jalil et al., 2025), mantendo as propriedades biológicas mesmo quando incorporados a sistemas veiculadores.

A segurança desse produto também merece destaque, com análises microbiológicas comprovando sua adequação para uso tópico (Rao et al., 2016). No entanto, pesquisadores ressaltam a necessidade de padronização na coleta e processamento para garantir a reprodutibilidade dos efeitos terapêuticos (Santos et al., 2021).

À medida que avançam os estudos, o mel de abelha sem ferrão se consolida como uma alternativa natural com grande potencial de aplicação na medicina regenerativa e na indústria de cuidados pessoais (Cabezas-Mera et al., 2023), combinando sabedoria tradicional com comprovação científica.

Em síntese, o mel de abelhas sem ferrão representa uma fronteira promissora na medicina natural e no desenvolvimento de terapias sustentáveis. Seus desafios — como a padronização e regulamentação — são compensados por oportunidades únicas,

desde a criação de novos produtos farmacêuticos até a preservação da biodiversidade. Investimentos em pesquisa e políticas públicas serão decisivos para consolidar seu papel na saúde global.

Embora o mel seja geralmente seguro em condições adequadas, sua toxicidade pode ocorrer devido a fatores como adulteração, contaminação microbiana, presença de toxinas naturais e consumo excessivo. É essencial estabelecer diretrizes mais rigorosas para a produção e comercialização de mel, especialmente para populações vulneráveis, como lactentes e indivíduos com comorbidades metabólicas. Pesquisas adicionais são necessárias para elucidar os mecanismos de toxicidade e estabelecer limites seguros de consumo.

3.5 Toxicidade do mel

O mel é amplamente reconhecido por suas propriedades terapêuticas, incluindo ação antimicrobiana, antioxidante e cicatrizante (Kurek-Górecka et al., 2020). No entanto, seu uso pode estar associado a efeitos adversos e toxicidade, especialmente quando consumido em condições inadequadas, como doses elevadas, adulteração ou uso por populações vulneráveis (Fakhlaei et al., 2020).

Estudos em modelos animais indicam que o consumo excessivo de mel pode suprimir o ganho de peso e reduzir o apetite (Du et al., 2023), provavelmente relacionado ao alto teor calórico e nutricional do mel, que pode induzir saciedade e reduzir a ingestão de outros alimentos.

Du et al. (2023) observaram que doses de até 12 g/kg/dia em ratos não causaram toxicidade significativa em órgãos ou alterações hematológicas, estabelecendo esse valor como nível sem efeito adverso observado (NOAEL). Entretanto, o mel contém frutose e glicose em alta concentração, e seu consumo excessivo pode levar a hiperglicemia e complicações metabólicas, como resistência à insulina e esteatose hepática (Rao et al., 2016).

Alguns méis, como o "mel louco" (mad honey), produzido a partir de néctares de *Rhododendron* spp., contêm grayanotoxinas, que causam efeitos tóxicos dose-dependentes. A ingestão desse mel pode desencadear sintomas como hipotensão, bradicardia, náuseas e, em casos graves, bloqueio cardíaco (Cakmak-Arslan et al., 2020). Além disso, o mel adulterado com xaropes de açúcar ou contaminantes como pesticidas e metais pesados representa um risco significativo para a saúde, podendo causar danos hepáticos, renais e cardiovasculares (Fakhlaei et al., 2020).

O mel pode abrigar microrganismos patogênicos, incluindo esporos de *Clostridium botulinum*, que representam um risco grave para lactentes (Al-Ghazali et al., 2023). O sistema digestivo imaturo de bebês menores de um ano não consegue inativar esses esporos, levando ao botulismo infantil, uma condição potencialmente fatal (Sant'ana et al., 2020). Além disso, méis com alta umidade (>20%) favorecem o crescimento de leveduras osmofílicas, comprometendo sua segurança microbiológica (Biluca et al., 2020).

O aquecimento excessivo e o armazenamento prolongado do mel levam à formação de HMF (hidroximetilfurfural), um composto com potencial genotóxico e carcinogênico (Nordin et al., 2018; Saidan et al., 2020). No entanto, o Brasil ainda carece de regulamentação específica para méis de abelhas nativas (*Meliponini*), cujas características físico-químicas diferem significativamente das de *Apis mellifera* (Souza et al., 2021).

A ausência de padrões claros para umidade, acidez e HMF em méis de abelhas nativas representa um risco à qualidade e segurança do produto (Nordin et al., 2018). Diante desse cenário, o estado da Bahia se destaca ao estabelecer parâmetros técnicos detalhados por meio da Portaria 207/2014 da Agência de Defesa Agropecuária (Bahia, 2014).

A legislação baiana define limites máximos para umidade (19g/100g em mel desumidificado), acidez (50 miliequivalentes/kg) e HMF (10 mg/kg). Além disso, exige a identificação taxonômica da espécie produtora e proíbe a adição de mel de *Apis mellifera* ou outros açúcares. Essas medidas servem como um modelo regulatório eficaz, ajudando a superar os desafios atuais e garantindo a segurança dos produtos melíferos.

A Tabela 4 sintetiza os principais riscos toxicológicos associados ao consumo de mel, destacando causas, efeitos adversos, populações vulneráveis e medidas de prevenção. Os dados revelam que, embora o mel seja amplamente reconhecido por seus benefícios terapêuticos, seu uso inadequado ou contaminado pode acarretar sérios problemas à saúde.

Tabela 4 - Riscos toxicológicos associados ao consumo de mel e recomendações.

Tipo de Risco	Causas/Fontes	Efeitos Adversos	População Vulnerável	Prevenção/Controle	Autores (ano)
Adulteração	Adição de xaropes/contaminantes	- Danos hepáticos/renais - Obesidade - Hipertensão	Todas as faixas etárias	-Fiscalização de qualidade -Certificação de origem	Fakhlaei <i>et al.</i> (2020)
Contaminação microbiana	Esporos de <i>C. botulinum</i> /leveduras	- Botulismo infantil - Distúrbios gastrointestinais	Lactentes (<1 ano)	-Não oferecer mel a bebês -Controle de umidade (<20%)	Grabowski & Klein (2017) Silva <i>et al.</i> (2021) Al-Ghazali <i>et al.</i> (2023)
Doses elevadas	Consumo excessivo (>12g/kg/dia)	- Supressão do apetite - Redução de peso -Hiperglicemia	Obesos, diabéticos	Limitar consumo a doses terapêuticas (1-2 colheres/dia)	Du <i>et al.</i> (2023) Rao <i>et al.</i> (2016)
HMF	Processamento/armazenamento inadequado	- Potencial carcinogênico -Genotoxicidade	Consumidores crônicos	-Evitar aquecimento >40°C -Armazenamento em local fresco	Saidan <i>et al.</i> (2020)
Interações medicamentosas	Inibição do citocromo P450	- Redução da eficácia de fármacos - Toxicidade medicamentosa	Pacientes polimedicados	Monitorar uso concomitante com: Diltiazem, Verapamil	Israili (2014)
Mel tóxico ("mad honey")	Grayanotoxinas (<i>Rhododendron</i> spp.)	- Bradicardia - Hipotensão -Bloqueio cardíaco (doses altas)	Adultos com comorbidades cardíacas	-Evitar consumo de méis desconhecidos -Tratamento com atropina em casos graves	Cakmak-Arslan <i>et al.</i> (2020)
Metais pesados	Contaminação ambiental	-Neurotoxicidade - Disfunção renal	Crianças/gestantes	Análise de resíduos em méis de áreas industriais	Souza <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

3.6 Desafios e perspectivas para utilização do mel de abelhas sem ferrão

Apesar do comprovado potencial antimicrobiano e cicatrizante do mel de abelhas sem ferrão (Meliponini), sua aplicação em escala farmacêutica e cosmética enfrenta desafios significativos. A principal limitação reside na falta de padronização da composição bioquímica, que varia consideravelmente conforme a espécie produtora, origem geográfica e sazonalidade (Biluca *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021).

Como demonstrado por Ávila *et al.* (2019) em análise quimiométrica, mesmo méis da mesma espécie apresentam variações nos teores de fenóis totais dependendo da flora apícola. Essa heterogeneidade dificulta a reprodução de efeitos terapêuticos consistentes e a formulação de produtos padronizados.

Outro obstáculo é a ausência de regulamentação específica para méis meliponíneos na maioria dos países. Enquanto o mel de *Apis mellifera* possui parâmetros físico-químicos bem estabelecidos (como umidade máxima de 20%), os méis de abelhas sem ferrão frequentemente excedem esses valores sem comprometer qualidade microbiológica (Pucciarelli *et al.*, 2014; Sato *et al.*, 2023). Como alertam Braghini *et al.* (2022), essa inadequação normativa limita a comercialização e pesquisa com padrões de segurança reconhecidos.

Contudo, emergem oportunidades promissoras. A crescente demanda por produtos naturais impulsiona a necessidade de legislação específica, como já iniciado no Equador através de protocolos de qualidade para 12 espécies nativas (Villacrés-Granda et al., 2021). No campo científico, o estudo de Mahmud et al. (2025) demonstrou que hidrogéis de goma gelana incorporados com mel de abelhas sem ferrão (gênero *Acacia*) promoveram cicatrização de feridas em modelos pré-clínicos, exibindo propriedades antimicrobianas e bioativas relevantes para o tratamento de feridas.

O caminho para superar essas limitações passa pelo desenvolvimento de protocolos de produção que garantam padronização mínima de compostos ativos; avanço em pesquisas que correlacionem parâmetros físico-químicos com atividade biológica, como proposto por Andrade et al. (2022) para fenóis específicos; e realização de ensaios clínicos controlados que validem as dosagens terapêuticas. Como destacam Cabezas-Mera et al. (2023), a riqueza da biodiversidade meliponínea oferece um campo inexplorado para descoberta de novos agentes antimicrobianos, desde que aliada a abordagens multidisciplinares que integrem conhecimento tradicional, química analítica e medicina translacional.

3.7 Limitações dos estudos

Embora esta revisão integrativa tenha demonstrado o notável potencial antimicrobiano do mel de abelhas sem ferrão, algumas limitações metodológicas e lacunas de conhecimento merecem reflexão. A marcante variabilidade na composição química desses méis, influenciada por fatores intrínsecos (espécie produtora) e extrínsecos (origem geográfica, sazonalidade e flora apícola), representa um desafio significativo para a padronização de pesquisas e aplicações terapêuticas.

Estudos como os de Biluca et al. (2020) e Roós et al. (2018) evidenciaram diferenças de até 40% nos teores de compostos fenólicos entre amostras da mesma espécie, o que pode explicar discrepâncias nos resultados de atividade antimicrobiana reportados na literatura. Essa heterogeneidade natural dificulta a comparação direta entre estudos e a reprodução de protocolos experimentais, limitando a translacionalidade dos achados.

Outro ponto crítico refere-se ao desequilíbrio entre estudos *in vitro* e *in vivo* na literatura revisada. Enquanto ensaios laboratoriais com culturas bacterianas predominam, pesquisas em modelos animais ou clínicos são escassas, como observado nos trabalhos de Jalil et al. (2017; 2025).

A disparidade metodológica entre estudos *in vitro* e *in vivo* pode levar a uma superestimação da eficácia clínica, já que os sistemas experimentais *in vitro* não conseguem reproduzir adequadamente a complexidade microbiológica e fisiológica das infecções reais. Além disso, apenas uma parcela dos estudos revisados considerou o controle de variáveis interferentes, como pH e osmolaridade, que são parâmetros críticos conhecidos por influenciar diretamente a atividade antimicrobiana do mel.

A análise revelou ainda lacunas importantes no entendimento dos mecanismos de ação. Embora múltiplos compostos bioativos tenham sido identificados (Tabela 1), suas interações sinérgicas e farmacocinética permanecem pouco exploradas. Estudos como os de Andrade et al. (2022) sugerem que flavonoides e ácidos fenólicos atuam em conjunto, mas a contribuição relativa de cada componente ainda não foi adequadamente quantificada. Esta limitação torna difícil estabelecer parâmetros de qualidade mínimos para aplicações terapêuticas.

Quanto à segurança, apenas 8 dos 50 estudos revisados (16 %) avaliaram sistematicamente parâmetros toxicológicos, conforme destacado na Tabela 4. A formação de hidroximetilfurfural (HMF) durante o armazenamento, particularmente problemática em méis com alta umidade (Andrade et al., 2024), e os riscos de contaminação microbiana (Grabowski & Klein, 2017) representam preocupações que demandam maior atenção em pesquisas futuras.

Perspectivas para avanços neste campo incluem: (1) desenvolvimento de protocolos padronizados para coleta e análise que contemplem a variabilidade natural; (2) realização de mais estudos pré-clínicos que avaliem farmacocinética e toxicidade crônica; e (3) ensaios clínicos randomizados controlados, especialmente para aplicações em feridas infectadas e dermatológicas.

A implementação de parcerias colaborativas entre pesquisadores e meliponicultores, como proposto por Cabezas-Mera et al. (2023), poderia facilitar a obtenção de amostras padronizadas em escala suficiente para estudos multicêntricos.

4. Conclusão

O mel de abelhas sem ferrão (*Meliponini*) destaca-se como um recurso terapêutico promissor, especialmente devido à sua comprovada atividade antimicrobiana contra patógenos multirresistentes. Esta revisão demonstrou que sua eficácia resulta da ação sinérgica entre compostos bioativos, como flavonoides e peróxido de hidrogênio, e propriedades físico-químicas únicas, incluindo pH ácido e alta osmolaridade. No entanto, a variabilidade em sua composição — influenciada por fatores geográficos e florais — e a falta de regulamentação específica ainda limitam sua aplicação em larga escala.

Para superar esses desafios, são propostas três ações principais: a padronização de protocolos de produção para garantir níveis mínimos de compostos ativos, como fenóis totais; o avanço em pesquisas translacionais, com ensaios clínicos que validem a segurança e eficácia em humanos; e a implementação de políticas públicas que estabeleçam normas técnicas para méis meliponíneos, seguindo exemplos bem-sucedidos, como o do Equador e do Estado da Bahia.

Além disso, a conservação dessas abelhas e o investimento em meliponicultura sustentável são passos essenciais para transformar esse conhecimento tradicional em soluções biomédicas inovadoras, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Referências

- Al-Ghazali, M. A., AbuKhader, M., Attia, R. A., Al-Tahan, M. A., & Aqrabi, M. S. (2023). Knowledge and awareness of the therapeutic benefits and precautions of natural honey consumption among students. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 16(1), 1–6. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00796>
- Al-Hatamleh, M. A. I., Boer, J. C., Wilson, K. L., Plebanski, M., Mohamud, R., & Mustafa, M. Z. (2020). Antioxidant-based medicinal properties of stingless bee products: recent progress and future directions. *Biomolecules*, 10(6), 923. <https://doi.org/10.3390/biom10060923>
- Andrade, B. B., Viana, E. B. M., Zanuto, M. E., & Souza, C. C. E. (2022). Mel de abelhas sem ferrão: uma revisão sobre parâmetros químicos, teor de compostos bioativos e suas propriedades terapêuticas. *Research, Society and Development*, 11(16), e77111637618. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37618>
- Andrade, B. B., Guimarães, C. S., Silva, L. E., Viana, E. B. M., Souza, A. S., Zanuto, M. E., & de Souza, C. C. E. (2024). Caracterização química, compostos bioativos, atividade antioxidante e comportamento reológico de méis de abelhas sem ferrão coletados no estado da Bahia. *Research, Society and Development*, 13(10), e120131047173. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i10.47173>
- Ávila, S., Hornung, P. S., Teixeira, G. L., Malunga, L. N., Apea-Bah, F. B., Beux, M. R., Beta, T., & Ribani, R. H. (2019). Bioactive compounds and biological properties of Brazilian stingless bee honey have a strong relationship with the pollen floral origin. *Food Research International*, 123, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.068>
- Bahia. Agência de Defesa Agropecuária da Bahia. (2014). Portaria nº 207, de 21 de novembro de 2014. *Diário Oficial do Estado da Bahia*, 26 nov. 2014, pp. 5–6.
- Barbiéri, C., & Francoy, T. M. (2020). Modelo teórico para análise interdisciplinar de atividades humanas: a meliponicultura como atividade promotora da sustentabilidade. *Ambiente & Sociedade*, 23, 1–20. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190020r2vu2020L4AO>
- Bezerra, A., Fonseca, H., Rodrigues, F., Delerue-Matos, C., Gouvêas, I., & Garcia, J. (2023). Honey therapy in diabetic foot ulcers: a promising strategy for effective wound healing. *Applied Sciences*, 13(23), 12820. <https://doi.org/10.3390/app132312820>
- Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2017). Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (Meliponinae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 63, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.039>
- Biluca, F. C., Gois, J. S., Schulz, M., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Maltez, H. F., Rodrigues, E., Vitali, L., Micke, G. A., Borges, D. L. G., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2020). Investigation of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (Meliponinae). *Food Research International*, 129, 108756. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108756>
- Braghini, F., Biluca, F. C., Schulz, M., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2022). Stingless bee honey: a precious but unregulated product—reality and expectations. *Food Reviews International*, 38(4), 683–712. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1884875>
- Cabezas-Mera, F. S., Atencia-Carrera, M. B., Villacrés-Granda, I., Proaño, A. A., Debut, A., Vizuete, K., Herrero-Bayo, L., González-Paramás, A. M., Giampieri, F., Abreu-Naranjo, R., Tejera, E., Álvarez-Suarez, J. M., & Machado, A. (2023). Evaluation of the polyphenolic profile of native Ecuadorian stingless bee honeys (Tribe: Meliponini) and their antibiofilm activity on susceptible and multidrug-resistant pathogens. *Current Research in Food Science*, 7, 100543. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2023.100543>

- Cakmak-Arslan, G., Haksoy, H., Goc-Rasgele, M., & Kececoglu, M. (2020). Determination of the dose-dependent toxic effects of mad honey on mouse liver using ATR-FTIR spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 228, 117719. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117719>
- Carneiro, A. L. B., Gomes, A. A., Silva, L. A., Alves, L. B., Silva, E. C., Pinto, A. C. S., Tadei, W. P., Pohlit, A. M., Teixeira, M. F. S., Gomes, C. C., & Naiff, M. de F. (2019). Antimicrobial and larvicidal activities of stingless bee pollen from Maues, Amazonas, Brazil. *Bee World*, 96(2), 98–103. <https://doi.org/10.1080/0005772X.2019.1650564>
- Carvalho, É. L. S., Bomfim, E. M. S., Silva, M. da C., Lima e Lima, L. C., Marques, E. de J., & Vale, V. L. C. (2021). Atividade antibacteriana, antioxidante e compostos fenólicos de méis produzidos por *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Apidae, Meliponini). *Research, Society and Development*, 10(10), e48101018424. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18424>
- Domingos, S. C. B., Clebis, V. H., Nakazato, G., Oliveira Jr, A. G. de, Kobayashi, R. K. T., Peruquetti, R. C., Pereira, C. D., Rosa, M. T. S., & Medeiros, L. dos S. (2020). Antibacterial activity of honeys from Amazonian stingless bees of *Melipona* spp. and its effects on bacterial cell morphology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5553–5560. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10828>
- Du, H. J., Zhang, P., Zheng, S., Nie, Y. M., Zhang, W. J., Feng, Y., Ning, J. Y., Li, G. J., & Gao, S. (2023). A 28-day subacute oral toxicity study of *Apis cerana* honey in Wistar rats. *International Food Research Journal*, 30(6), 1–10. <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.6.11>
- Fakhlaei, R., Selamat, J., Khatib, A., Razis, A. F. A., Sukor, R., Ahmad, S., & Babadi, A. A. (2020). The toxic impact of honey adulteration: A review. *Foods*, 9(11), 1538. <https://doi.org/10.3390/foods9111538>
- Faleiros-Quevedo, M., Silva, G. R., dos Santos, A. N., & Franco, T. M. (2024). Honey from different species of stingless bees (Apidae: Meliponini) is effective against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Journal of Medicinal Food*, 27(3), 1–10. <https://doi.org/10.1089/jmf.2023.0107>
- Freitas, M. dos S. D., Sousa, M. H. O. de, Santos, C. R. G. dos, Porto, C., Pilau, E. J., & Moura, N. F. de. (2025). Bioactive compounds by UHPLC-MS/MS and physicochemical characterization of *Melipona quadrifasciata* honey. *European Food Research and Technology*, 251(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04655-0>
- Grabowski, N. T., & Klein, G. (2017). Microbiology and food-borne pathogens in honey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(9), 1852–1862. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1029041>
- Israili, Z. H. (2014). Antimicrobial properties of honey. *American Journal of Therapeutics*, 21(4), 304–323. <https://doi.org/10.1097/MJT.0b013e318293b09b>
- Jalil, M. A. M., Kasmuri, A. R., & Hadi, H. (2017). Stingless bee honey, the natural wound healer: a review. *Skin Pharmacology and Physiology*, 30(2), 66–75. <https://doi.org/10.1159/000458416>
- Jalil, M. A. A., Isa, M. L. M., Azhan, U., Khalid, K. A., Barkat, M. A., & Hadi, H. (2025). Evaluating the wound healing activity of fabricated stingless bee honey hydrogels in an animal model. *Journal of Pharmacy*, 5(2), 286–304. <https://doi.org/10.31436/jop.v5i2.399>
- Jibril, F. I., Hilmi, A. B. M., & Aliyu, S. (2020). Effect of non-hydrogen peroxide on antibacterial activity of Malaysian Meliponini honey against *Staphylococcus aureus*. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 12(Suppl. 2), S831–S835. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_280_19
- Kurek-Górecka, A., Górecki, M., Rzepecka-Stojko, A., Balwier, R., & Stojko, J. (2020). Bee products in dermatology and skin care. *Molecules*, 25(3), 556. <https://doi.org/10.3390/molecules25030556>
- Mahmod, Z., Zulkifli, M. F., Masimen, M. A. A., Wan Ismail, W. I., Sharifudin, M. A., & Mat Amin, K. A. (2025). Investigating the efficacy of gellan gum hydrogel films infused with Acacia stingless bee honey in wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 296, 139753. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.139753>
- Medeiros, V. F. L. P., Azevedo, I. M., Rêgo, A. C. M., Egito, E. S. T., Araújo-Filho, I., & Medeiros, A. C. (2016). Antibacterial properties and healing effects of *Melipona scutellaris* honey in MRSA-infected wounds of rats. *Acta Cirúrgica Brasileira*, 31(5), 327–332. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-865020160050000006>
- Miranda, I., Ancona, D., & Ordóñez, Y. (2023). Influence of phenolic compounds and flavonoids on the colour and antioxidant activity of *Melipona beecheii* honey from deciduous forest of Yucatan, Mexico. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35(1), 1–10. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.3198>
- Mohd Hasali, N. H., Zamri, A. I., Lani, M. N., Mubarak, A., & Suhailil, Z. (2015). Identification of lactic acid bacteria from Meliponine honey and their antimicrobial activity against pathogenic bacteria. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 9(6), 1–6. <http://www.aensiweb.com/AEJSA/>
- Nishio, E. K., Ribeiro, J. M., Oliveira, A. G., Andrade, C. G. T. J., Proni, E. A., Kobayashi, R. K. T., & Nakazato, G. (2016). Antibacterial synergic effect of honey from two stingless bees: *Scaptotrigona bipunctata* Lepeletier, 1836, and *S. postica* Latreille, 1807. *Scientific Reports*, 6, 21641. <https://doi.org/10.1038/srep21641>
- Nordin, A., Sainik, N. Q. A. V., Chowdhury, S. R., Saim, A. B., & Idrus, R. B. H. (2018). Physicochemical properties of stingless bee honey from around the globe: a comprehensive review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.06.002>
- Oliveira, M., Silva Pereira, K. D. S., & Zamberlam, C. R. (2020). Resistência bacteriana pelo uso indiscriminado de antibióticos: uma questão de saúde pública. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 6(11), 18. <https://doi.org/10.29327/4426668>
- Oliveira, E. V. S., Vasconcelos, G. K. C., Silva, J. B., & Silva, E. V. C. (2023). Caracterização físico-química dos méis e polens das abelhas sem ferrão das espécies *Melipona flavolineata* e *Melipona fasciculata*. *Química Nova*, 46(10), 942–948. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230075>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free ebook]. Santa Maria: Editora da UFSM.

Polatto, L. P., Tavares, P. R. A., & Alves Junior, V. V. (2025). Ecosystem services provided by bees: theoretical basis and practical applications. In *Biological Sciences: Fundamentals and multidisciplinary applications* (pp. 1–32). <https://doi.org/10.56238/edimacto2025.061-001>

Pucciarelli, A. B., Schapovaloff, M. E., Kummritz, S., Seňuk, I. A., Brumovsky, L. A., & Dallagnol, A. M. (2014). Microbiological and physicochemical analysis of yatei (*Tetragonisca angustula*) honey for assessing quality standards and commercialization. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(4), 325–332. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70091-4](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70091-4)

Nether, M. C., Dudek, J., & Buschini, M. L. T. (2019). Trophic interaction and diversity of cavity-nesting bees and wasps (Hymenoptera: Aculeata) in Atlantic forest fragments and in adjacent matrices. *Apidologie*, 50(1), 129–142. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0623-x>

Rao, P. V., Krishnan, K. T., Salleh, N., & Gan, S. H. (2016). Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: a comparative review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26(5), 657–664. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.01.012>

Roós, P. B., Soares, L. B., Resmim, C. M., da Rosa, F. P., Farina, J. B., Vielmo, N. I. C., Sisti, J. N., Caetano, M. M., & Tusi, M. M. (2018). Avaliação de parâmetros físico-químicos e da atividade antimicrobiana in vitro de méis de Jataí (*Tetragonisca angustula*) provenientes do Rio Grande do Sul. *Perspectiva*, 42(159), 97–107. https://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/159_727.pdf

Rosli, F. N., Hazemi, M. H. F., Akbar, M. A., Basir, S., Kassim, H., & Bunawan, H. (2020). Stingless bee honey: evaluating its antibacterial activity and bacterial diversity. *Insects*, 11(8), 500. <https://doi.org/10.3390/insects11080500>

Saidan, N. H., Roslan, N., Baharuddin, N. R. M., Hamil, M. S. R., & Krishnan, K. T. (2020). Compliance of selected stingless bee honey in Kelantan according to Malaysian Standard (MS) 2683:2017. *Malaysian Applied Biology*, 49(4), 187–192. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v49i4.1612>

Sant'ana, R. da S., Carvalho, C. A. L. de, Oda-Souza, M., Souza, B. de A., & Dias, F. de S. (2020). Characterization of honey of stingless bees from the Brazilian semi-arid region. *Food Chemistry*, 327, 127041. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127041>

Santos, A. C. dos, Biluca, F. C., Braghini, F., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2021). Phenolic composition and biological activities of stingless bee honey: an overview based on its aglycone and glycoside compounds. *Food Research International*, 147, 110553. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110553>

Sato, D. M., Ressutte, J. B., Gonçalves, M. A., & Spinosa, W. A. (2023). Identity and quality standards for Brazilian stingless bee honey based on physicochemical parameters—a review. *Ciência e Natura*, 45, e30. <https://doi.org/10.5902/2179460X72016>

Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Abd Razak, S. B., Jambari, N. N., Mian, Z., & Khatib, A. (2019). Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 239–264. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576730>

Silva, A. C., Brito, M. G. A., Rocha, G. M. de M., Silva, M. do A., & Oliveira, G. A. L. de. (2021). Propriedade antimicrobiana e perfil de toxicidade de méis de abelhas sem ferrão do gênero *Melipona* Illiger, 1806: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 10(4), e13510413903. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13903>

Sousa, J. M., Souza, E. L. de, Marques, G., Meireles, B., Cordeiro, Â. T. de M., Gullón, B., Pintado, M. M., & Magnani, M. (2016). Polyphenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honeys produced by *Meliponini* in the Brazilian semiarid region. *Food Research International*, 84, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.012>

Souza, E. C. A., Menezes, C., & Flach, A. (2021). Stingless bee honey (Hymenoptera, Apidae, *Meliponini*): a review of quality control, chemical profile, and biological potential. *Apidologie*, 52(1), 113–132. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00802-0>

Souza, M. T., Silva, M. D., & Carvalho, R. (2010). Revisão integrativa: O que é e como fazer. *Einstein*, 8(1), 102–106. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>

Tanleque-Alberto, F., Juan-Borrás, M., & Esriche, I. (2020). Antioxidant characteristics of honey from Mozambique based on specific flavonoids and phenolic acid compounds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 86, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103377>

Villacrés-Granda, I., Coello, D., Proaño, A., Ballesteros, I., Roubik, D. W., Jijón, G., Granda-Albuja, G., Granda-Albuja, S., Abreu-Naranjo, R., Maza, F., Tejera, E., González-Paramás, A. M., Bullón, P., & Álvarez-Suarez, J. M. (2021). Honey quality parameters, chemical composition and antimicrobial activity in twelve Ecuadorian stingless bees (Apidae: Apinae: *Meliponini*) tested against multiresistant human pathogens. *LWT - Food Science and Technology*, 140, 110737. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110737>

Vazquez-Pertejo, M. T., & Bush, L. M. (2025). Testes de sensibilidade. In *Manual MSD Versão para Profissionais*. Merck & Co., Inc. <https://www.msdmanuals.com/pt/profissional/doen%C3%A7as-infecciosas/diagn%C3%B3stico-laboratorial-das-doen%C3%A7as-infecciosas/testes-de-sensibilidade>

Witter, S., & Nunes-Silva, P. (2014). Manual de boas práticas para o manejo e conservação de abelhas nativas (meliponíneos) (1st ed.). Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/21110058-manual-para-boas-praticas-para-o-manejo-e-conservacao-de-abelhas-nativas-meliponineos.pdf>