UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

LETÍCIA ROSÁRIO SILVEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E COMPOSIÇÃO MINERAL DE MÉIS DE *APIS MELLIFERA* NO SUL DA BAHIA

PORTO SEGURO
2025

LETÍCIA ROSÁRIO SILVEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E COMPOSIÇÃO MINERAL DE MÉIS DE APIS MELLIFERA NO SUL DA BAHIA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Sul da Bahia e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, com vistas à obtenção do título de mestre.

Orientador(a): Prof. Dr. Mário Marques da Silva Júnior

PORTO SEGURO
2025

Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
Sistema de Bibliotecas (SIBI)

S587a Silveira, Letícia Rosário, 1999 -
Avaliação da qualidade e composição mineral de méis de Apis melífera no Sul da Bahia. / Letícia Rosário Silveira. – Porto Seguro, 2025.
83 f.

Orientador: Prof. Dr. Mário Marques da Silva Júnior
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia. Centro de Formação em Ciências Ambientais. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais. Campus Sosígenes Costa.

1. Mel. 2. Adulteração. 3. Indicador Ambiental. 4. Qualidade. 5. Composição Mineral. 6. ICP OES. I. Silva Junior, Mário Marques da. II. Título.

CDD – 638.1

Elaborado por Lucas Sousa Carvalho - CRB-5/1883

PORTO SEGURO
2025

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Aos 11 dias do mês de abril do ano de 2025, às 09h, reuniram-se os/as membros/as da banca examinadora composta pelos/as docentes Dr. Mário Marques da Silva Junior (orientador e presidente da banca), Dra. Ariana Maria Santos Lima (membra externa ao Programa), Dr. Jailson Santos de Novais (membro interno ao Programa) e Dr. Allison Gonçalves Silva (membro interno ao Programa), a fim de arguir a mestranda Letícia Rosário Silveira na defesa de sua dissertação de mestrado, cujo trabalho de pesquisa intitula-se "AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E COMPOSIÇÃO MINERAL DE MÉIS DE APIS MELLIFERA NO SUL DA BAHIA". Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube à candidata, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionada pelos/as membros/as da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. Após reunião em sessão secreta, os/as membros/as da banca consideraram a dissertação:

( ) Aprovada com Louvor (x) Aprovada ( ) Reprovada

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
MARIO MARQUES DA SILVA JUNIOR
Data: 11/07/2025 09:27:26-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Mário Marques da Silva Junior
(UFSB/PPGCTA)
Orientador e Presidente/l da banca

Documento assinado digitalmente
JAILSON SANTOS DE NOVAIS
Data: 13/04/2025 22:12:04-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Jailson Santos de Novais
(UFSB/PPGCTA)
Membro interno

Documento assinado digitalmente
ARIANA MARIA DOS SANTOS LIMA
Data: 14/04/2025 15:25:07-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Ariana Maria Santos Lima
(IFBA - Eunápolis)
Membra externa

Documento assinado digitalmente
ALLISON GONCALVES SILVA
Data: 14/04/2025 15:53:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Allison Gonçalves Silva (IFBA - Porto Seguro)
Membro interno

Documento assinado digitalmente
LETICIA ROSARIO SILVEIRA
Data: 14/04/2025 16:09:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Letícia Rosário Silveira
Discente

Porto Seguro, 11 de abril de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao universo pela força, sustento e sabedoria ao longo dessa caminhada. Sem essa luz guiando meus passos, este momento não seria possível.

À minha filha, Melina, que é minha maior inspiração, minha força e combustível. Essa conquista é nossa! Não é apenas um título, mas a realização de um sonho.

À minha mãe e à sogra Ana, pelo apoio incondicional, pelo zelo e pelos dias dedicados ao cuidado de Melina para que eu pudesse me dedicar ao laboratório e aos estudos.

Ao meu marido Lucas, pela paciência, pelo cuidado, apoio e por compreender que conviver com uma mulher acadêmica (ansiosa e agoniada) não é fácil — mas juntos tornamos isso possível.

À minha família por estar sempre ao meu lado, por me consolar nos dias difíceis, enxugar minhas lágrimas quando algo dava errado e me lembrar, em cada abraço, que eu era capaz de continuar. Sem o amor e o suporte de vocês, essa caminhada teria sido muito mais árdua.

Ao meu orientador prof. Dr. Mário, cuja orientação, incentivo, puxões de orelha, risadas, e todo auxílio foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, sem essa orientação nada disso teria acontecido.

Às amizades construídas no laboratório que tornaram essa jornada mais leve, e em especial à Gabriela pelo companheirismo, pela ajuda nas análises, pelas risadas, e por compartilhar seu tempo e vida comigo.

Aos professores do PPGCTA e colegas que contribuíram para minha formação, meus sinceros agradecimentos.

Meus agradecimentos a toda a comunidade apícola da região do Sul da Bahia, em especial Eunápolis e Guaratinga que doaram amostras de méis para realização desse trabalhou.

À UFSB e ao PPGCTA, por proporem a oportunidade de realizar esse sonho, e à FAPESB, pelo suporte financeiro com a concessão da bolsa que viabilizou esta pesquisa, tão importante para nossa região e para toda a comunidade científica.

E, por fim, agradeço a mim mesma. Por me permitir viver esse sonho, por persistir, e por acreditar que se eu posso, eu consigo!

SILVEIRA, Letícia Rosário. **Avaliação da qualidade e composição mineral de méis de Apis mellifera no Sul da Bahia.** Orientador: Mário Marques da Silva Júnior. 2025. Proposta de dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Sul da Bahia; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Porto Seguro, 2025.

RESUMO

O mel é um alimento de alto valor nutritivo, originado do néctar das flores ou de secreções açucaradas das plantas, que, após a coleta pelas abelhas, passam por transformações enzimáticas e são armazenados nos favos para maturação. Sua composição inclui vitaminas, minerais e compostos fenólicos, que lhe conferem propriedades nutricionais, terapêuticas e medicinais. Fatores como origem floral e condições ambientais influenciam diretamente sua composição química e podem resultar na presença de contaminantes inorgânicos provenientes de atividades antropogênicas em áreas de forrageamento. No Brasil, a apicultura desempenha um papel relevante na agricultura familiar, promovendo a sustentabilidade ambiental e a geração de renda.

Este estudo analisou 34 amostras de méis de *Apis mellifera* da região Sul da Bahia (Costa do Descobrimento), avaliados com base em parâmetros físico-químicos, incluindo umidade, hidroximetilfurfural (HMF), atividade diastásica, açúcares redutores, sacarose aparente, acidez, sólidos insolúveis e testes qualitativos, como prova de Lund, teste de Fiehe e reação de Lugol, obedecendo à legislação brasileira vigente. Os resultados indicaram que 31 amostras estavam em conformidade com os padrões de qualidade, enquanto três amostras apresentaram possível adulteração. Além disso, algumas amostras apresentaram valores físico-químicos acima dos limites recomendados, possivelmente em decorrência das condições de armazenamento e do manejo das colmeias.

A análise mineral foi realizada por ICP-OES onde 23 amostras foram analisadas e 8 minerais quantificados. O potássio foi o elemento mais abundante nas amostras, com concentrações entre 83,8 e 1975,95 mg/kg, enquanto o ferro apresentou os menores teores, variando de 1,3 a 21,3 mg/kg.

Os resultados demonstram que os produtos produzidos na região atendem, em sua maioria, aos padrões de qualidade exigidos para comercialização e consumo. No entanto, a fiscalização deve ser intensificada desde a produção até a comercialização, garantindo a oferta de produtos autênticos e seguros, além de valorizar e incentivar os apicultores que seguem as normas regulatórias.

Palavras-chave: mel; adulteração; indicador ambiental; qualidade; composição mineral; ICP OES

SILVEIRA, Letícia Rosário. **Evaluation of quality and mineral composition of Apis mellifera honeys in Southern Bahia** Advisor: Mário Marques da Silva Júnior. 2025. Dissertation proposal. Dissertation (Master's in Environmental Science & Technology) – Universidade Federal do Sul da Bahia; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Porto Seguro, 2025.

ABSTRACT

Honey is a food of high nutritional value, originating from the nectar of flowers or the sugary secretions of plants, which, after being collected by the bees, undergo enzymatic transformations and are stored in the combs for maturation. Its composition includes vitamins, minerals and phenolic compounds, which give it nutritional, therapeutic and medicinal properties. Factors such as flower origin and environmental conditions directly influence its chemical composition and can result in the presence of inorganic contaminants from anthropogenic activities in foraging areas. In Brazil, beekeeping plays an important role in family farming, promoting environmental sustainability and generating income.

This study analyzed 34 samples of Apis mellifera honeys from the southern region of Bahia (Costa do Descobrimento), evaluated on the basis of physicochemical parameters, including humidity, hydroxymethylfurfural (HMF), diastatic activity, reducing sugars, apparent sucrose, acidity, insoluble solids and qualitative tests, such as the Lund test, Fiehe test and Lugol's reaction, in compliance with current Brazilian legislation. The results indicated that 31 samples complied with the quality standards, while three showed adulteration due to the addition of commercial syrup. In addition, some samples contained values above the recommended limits, possibly due to the storage and handling conditions of the hive. Mineral analysis was carried out by ICP-OES where 23 samples were analyzed and 8 minerals quantified at the following wavelengths (nm): Ca (396.366), Cr (283.563), Fe (259.940), K (766.490), Mg (279.553), Mn (257.610), Na (588.995) and Zn (202.548). Potassium was the most abundant element in the samples, with concentrations ranging from 83.8 to 1975.95 mg/kg, while iron had the lowest levels, ranging from 1.3 to 21.3 mg/kg.

The results show that most of the products produced in the region meet the quality standards required for sale and consumption. However, inspection must be intensified from production to marketing, guaranteeing the supply of authentic and safe products, as well as valuing and encouraging beekeepers who follow the regulatory standards.

Keywords: honey; adulteration; environmental indicator; quality; mineral composition; ICP OES

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Abelha Apis mellifera..... 13

Figura 02 – Ranking da produção mundial de mel..... 15

Figura 03 – Ranking da produção nacional e regional de mel..... 16

Figura 04 – Esquema cadeia produtiva de mel..... 18

Figura 05 – Fonte naturais e antrópicas de elementos químicos..... 21

Figura 06 – Resultado do teste de Fiehe em amostras de mel..... 61

Figura 07 – Resultado da Reação de Lugol em amostras de mel..... 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Composição química do mel..... 27

Tabela 02 – Parâmetros físico-químicos do mel..... 36

Tabela 03 – Codificação das amostras..... 45

Tabela 04 – Resultados das análises físico-químicas dos méis no Sul da Bahia..... 54

Tabela 05 – Concentrações dos elementos minerais nas amostras de méis por ICP – OES..... 64

Tabela 06 – Limites de detecção (LOD), quantificação (LOQ) e a precisão..... 65

Tabela 07 – Comparação de macroelementos com a TACO para ingestão diária..... 65

LISTA DE SIGLAS

AR	Açúcar redutor
AW	Atividade da água
CIENAM	Centro Interdisciplinar de Energia e Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HMF	Hidroximetilfurfural
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP OES	do inglês: *Inductively coupled plasma optical emission spectrometry* (Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado)
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
INMETRO	Instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial
LOD	do inglês: *Limit of detection* (Limite de detecção)
LOQ	do inglês: *Limit of quantification* (Limite de quantificação)
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PPGCTA	Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais
ICP MS	Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado
UHPLC – MS/MS	Cromatografia Líquida de Ultra-Alta Eficiência
AS	Sacarose Aparente
EAA	Espectrometria de Absorção Atômica

Sumário

1. INTRODUÇÃO 6
2. OBJETIVO 9
2.1 Objetivo Geral 9
2.2 Objetivos específicos 9
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 10
3.1 Abelha Apis mellifera L 10
3.2 Mel de abelhas Apis *mellifera L* 11
3.3 Panorama de produção de mel 12
3.4 Papel socioambiental do mel 15
3.5 Mel como bioindicador de qualidade ambiental 17
3.6 Propriedades funcionais do mel 20
3.7 Composição química do mel 23
3.8 Composição mineral 28
3.9 Classificação do mel de A. *mellifera* 32
3.10 Parâmetros físico-químicos 33
3.10.1 Maturidade 34
3.10.2 Pureza 36
3.10.3 Deterioração 36
3.11 Adulterantes em mel 39
3.11.1 Reação de Lugol 40
3.11.2 Prova de Lund 40
3.11.3 Teste de Fiehe 41
4. METODOLOGIA 41
4.1 Obtenção de amostras 41
4.3 Umidade 44
4.4 Acidez 44
4.5 Determinação de Hidroximetilfurfural 45
4.6 Determinação de açúcares redutores 46
4.7 Sacarose Aparente 47
4.8 Sólidos Insolúveis 47
4.9 Atividade Diastásica 48
4.10 Reação de Lugol 48
4.11 Reação de Fiehe 49
4.12 Teste de Lund 49
4.13 Metodologia para determinação multielementar por ICP - OES 49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 51
CONSIDERAÇÕES FINAIS 64
REFERÊNCIAS 65

1. INTRODUÇÃO

A apicultura é uma das atividades econômicas mais antigas e de grande relevância para o Brasil, não apenas pela produção de mel e seus derivados, mas também pelos serviços ecossistêmicos que promovem, como a polinização, a manutenção da biodiversidade e a ciclagem de nutrientes. Além de seu papel ambiental, essa atividade possui um impacto socioeconômico significativo, gerando emprego e renda, especialmente para pequenos produtores e agricultores familiares. O Brasil, devido à sua extensa biodiversidade e disponibilidade de pastos apícolas, apresenta um grande potencial para a produção de mel, conferindo-lhe uma vantagem competitiva em relação a outros grandes produtores, como China, Turquia e Irã (Pereira *et al*., 2020; Vidal, 2022).

Nos últimos anos, a demanda por mel tem aumentado significativamente, impulsionada pela busca por alimentos mais saudáveis e naturais. A distinção entre alimentos naturais e orgânicos é fundamental para compreender as dinâmicas desse mercado. De acordo com a legislação brasileira (MAPA, 2020), um produto orgânico deve ser obtido em um sistema de produção agropecuário que exclui o uso de agrotóxicos, fertilizantes sintéticos, hormonais e organismos geneticamente modificados, promovendo práticas sustentáveis (Venancio *et al*., 2022). Por outro lado, os alimentos naturais, embora livres de aditivos artificiais, podem ser cultivados com fertilizantes orgânicos derivados de materiais vegetais, animais ou agroindustriais, desde que não contenham elementos sintéticos tóxicos, e onde não sejam utilizados no processo o sódio (Na+), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos. Portanto, enquanto todos os alimentos orgânicos são naturais, nem todos os alimentos naturais são orgânicos. Essa diferença é importante para os consumidores que buscam não apenas a qualidade nutricional, mas também a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental (Porto&Nordi, 2019).

O mel, além de ser um alimento de alto valor nutricional, possui propriedades medicinais e terapêuticas, sendo produzido pelas abelhas a partir do néctar das flores, secreções de plantas ou excreções de insetos sugadores, através de um processo de evaporação da água e adição de enzimas (Samarghandian; Fakhondeh; Samini, 2017; Vîjan *et al*., 2023). Entretanto, seu elevado valor de mercado e crescente demanda tornam vulneráveis a fraudes, especialmente pela adulteração com xaropes de açúcar que simulam seu perfil de carboidratos. Embora a legislação proíba tais práticas, a detecção dessas adulterações nem sempre é trivial, tornando essencial a aplicação de métodos analíticos específicos para garantir a autenticidade do produto.

A composição físico-química do mel é definida por parâmetros como teor de açúcares redutores, sacarose aparente, acidez, pH, teor de água, sólidos insolúveis, condutividade elétrica, cor, teor de hidroximetilfurfural (HMF) e atividade diastásica (Bogdanov *et al*., 1999; DAFF, 2000; AOAC, 1995). A definição desses parâmetros é essencial para sua caracterização, regulamentação e detecção de possíveis adulterações (Codex Alimentarius, 2001). Atualmente, o mel está entre os dez produtos alimentares mais suscetíveis à fraude, ocupando a terceira posição, atrás apenas do leite e do azeite (García, 2018; Everstine *et al*., 2024). Além da adulteração comum com xaropes de açúcar, a rastreabilidade das suas origens botânicas e geográficas, bem como sua composição mineral, torna-se um desafio crucial para garantir a autenticidade e qualidade do produto.

A determinação de micro e macronutrientes nas amostras de mel foi realizada por meio da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), uma metodologia analítica sensível, precisa e amplamente utilizada para a quantificação de elementos traço em matrizes complexas. No presente estudo, 23 amostras foram analisadas e oito minerais foram quantificados: cálcio (Ca), cromo (Cr), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), sódio (Na) e zinco (Zn), utilizando-se os seguintes comprimentos de onda (nm): Ca (396,366), Cr (283,563), Fe (259,940), K (766,490), Mg (279,553), Mn (257,610), Na (588,995) e Zn (202,548). A análise mineral do mel não apenas contribui para a avaliação de sua qualidade nutricional, mas também serve como marcador geoquímico para a identificação da origem geográfica e possível contaminação ambiental, ampliando sua aplicabilidade na autenticação e rastreabilidade do produto.

Além da importância econômica e nutricional, os produtos apícolas têm sido amplamente utilizados como bioindicadores ambientais devido à interação intensa das abelhas com o meio ao redor da colmeia, incluindo solo, água, ar e flora. A poluição resultante de atividades industriais e agrícolas impacta diretamente essas colônias, contribuindo para o declínio das populações de abelhas e comprometendo a produção de mel. Essa redução representa uma preocupação ambiental significativa, visto que a polinização é um serviço ecossistêmico de provisão essencial para a reprodução vegetal e a manutenção da biodiversidade (Varassin *et al*., 2021).

Portanto, para garantir a identidade e a qualidade do mel de *Apis mellifera* L. para consumo humano, parâmetros físico-químicos como açucares redutores, sacarose aparente, teor de água, sólidos insolúveis em água, acidez, pH, condutividade elétrica, cor, teor de HMF,

atividade diastática devem ser avaliados (Machado-de-Melo *et al*., 2017; Missio da Silva *et al*., 2020)

Assim como qualquer alimento destinado à comercialização, o mel deve ser inspecionado por órgãos reguladores para garantir a segurança alimentar, prevenindo a compra de produtos adulterados e assegurando sua qualidade. A presente pesquisa realizou uma revisão bibliográfica dos parâmetros físico-químicos de qualidade do mel de *Apis mellifera*, abordando sua composição, classificação, sua importância para a agricultura familiar e seu potencial como bioindicador.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade de méis produzidos e comercializados no Sul da Bahia acerca de sua composição por meio da caracterização físico-química e da determinação da composição mineral.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar a literatura sobre a composição físico-química do mel de *Apis mellifera*, relatando seus principais componentes, como açúcares, vitaminas, minerais e compostos fenólicos;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos das amostras de méis adquiridos no Sul da Bahia;
- Quantificar os elementos minerais presentes nas amostras de méis;
- Comparar os diferentes métodos de adulteração do mel e suas implicações para a qualidade do produto, destacando as técnicas utilizadas para detectar fraudes;
- Examinar o papel do mel como bioindicador de qualidade ambiental;
- Ressaltar a importância ambiental das abelhas quanto aos serviços ecossistêmicos que são gerados, principalmente no âmbito da agricultura familiar;
- Avaliar a importância da apicultura na agricultura familiar no Brasil, considerando sua abordagem socioambiental.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Abelha Apis mellifera L.

A apicultura no Brasil teve início em 1839, com a chegada de imigrantes europeus que introduziram abelhas melíferas (*Apis mellifera*) para a produção de cera (Mag, 2021). Segundo Martinez e Soares (2012), a história da apicultura no país pode ser dividida em três fases: a implantação inicial (1839-1955), a africanização dos apiários a partir de 1956, resultante das misturas entre abelhas europeias e africanas, e a recuperação e expansão do setor a partir da década de 1970, impulsionada pelo Primeiro Congresso Brasileiro de Apicultura. Inicialmente, as subespécies europeias, como Apis *mellifera mellifera* e Apis *mellifera ligustica*, eram as principais produtoras de mel, sendo conhecidas por sua docilidade, mas com baixa produtividade em relação à flora brasileira.

Figura 01. Abelha Apis *mellifera L.*

As abelhas pertencem ao reino Animalia, filo Arthropoda, classe Insecta, ordem Hymenoptera e família Apidae, e desempenham um papel crucial na polinização de diversas plantas. Elas são fundamentais para a manutenção da biodiversidade e para a produção de alimentos, pois cerca de 75% das culturas agrícolas dependem da polinização animal, especialmente realizada por abelhas (Beringer, 2019). A definição de abelhas abrange tanto as espécies com ferro, como as do gênero *Apis*, quanto as abelhas sem ferrão, conhecidas como meliponíneos, que são especialmente abundantes em regiões tropicais, como o Brasil (Silva & Ribeiro, 2023)

No Brasil, existem aproximadamente 330 espécies de abelhas sem ferrão, que se adaptam a diversos ambientes e possuem um complexo sistema social (Silva & Ribeiro, 2023). As principais espécies do gênero Apis encontradas no país incluem Apis mellifera, a abelha europeia, que é a mais comum na apicultura, e Apis cerana, que é nativa da Ásia (Júnior *et al*., 2024). No estado da Bahia, as espécies mais comuns de abelhas sem ferrão incluem Melipona scutellaris e Tetragonisca angustula, que são amplamente estudadas devido à sua importância ecológica e econômica (Jesus *et al*., 2020).

A diversidade de abelhas no Brasil é refletida na variedade de habitats que elas ocupam, desde florestas tropicais até áreas de cerrado. As abelhas desempenham um papel vital na polinização de plantas nativas e cultivadas, o que, por sua vez, influencia a produção de mel e outros produtos apícolas (Jesus *et al*., 2020). Estudos indicam que as interações entre abelhas e flores são complexas e variam conforme a disponibilidade de recursos florais, o que é crucial para a eficiência da polinização (Pigozzo & Viana, 2010; Gostinski *et al*., 2018).

3.2 Mel de abelhas Apis *mellifera L.*

O mel é produzido pelas abelhas melíferas a partir do néctar das flores, de secreções das partes vivas das plantas ou de secreções de insetos sugadores que permanecem sobre essas plantas. As abelhas recolhem essas substâncias, processam-nas com suas próprias enzimas e as armazenam nos favos das colmeias, onde o mel amadurece (Brasil, 2000; Codex Alimentarius, 2001; Vîjan et al., 2023; Campos *et al*, 2024;).

Esse processo envolve modificações físicas e químicas. A modificação física é caracterizada pela desidratação do néctar, que ocorre quando as abelhas ventilam a colmeia movimentando suas asas, criando uma corrente de ar. Ao mesmo tempo, enzimas presentes no néctar facilitam a desidratação. Durante esse processo, enzimas como a invertase e a amilase quebram os açúcares complexos em açúcares simples, o que não apenas altera a composição do mel, mas também facilita a evaporação da umidade, pois os açúcares simples possuem maior solubilidade. O resultado é um mel com baixo teor de umidade, tornando-o menos suscetível à fermentação e deterioração (Vieira *at al*., 2023).

A modificação química ocorre paralelamente, na qual enzimas como invertase, amilase e glicose-oxidase, presentes nas glândulas hipofaríngeas, transformam a composição dos carboidratos, convertendo açúcares mais complexos em açúcares mais simples. O mel final é,

portanto, um fluido viscoso com aromas e sabores distintos, resultado dos processos metabólicos das abelhas (Rolim *et al*., 2018).

Adicionalmente, a microbiota intestinal das abelhas desempenha um papel crucial na digestão do pólen, néctar e na degradação de metabólitos secundários de plantas recalcitrantes. Ao fazer isso, acumula-se ácidos orgânicos e produtos de degradação de polifenóis, que acabam integrando o mel produzido (Kešnerová *et al*., 2017).

3.3 Panorama de produção de mel

Atualmente, o Brasil ocupa a 11ª posição no ranking mundial de produção de mel, sendo um dos maiores produtores de mel orgânico. Em 2021, o país produziu 55,8 mil toneladas, com destaque o Nordeste e o estado do Rio Grande do Sul, devido à sua competitividade no mercado de mel orgânico (IBGE, 2023; Agrostat Brasil, 2021). A vasta biodiversidade e as condições climáticas favoráveis do país impulsionam essa produção, maximizando as chances de certificações de qualidade (Vidal, 2022).

Figura 02. Produção mundial de mel (2017-2021)

Variável/Unidade geográfica							
Produção	2017	2018	2019	2020	2021	2021 (%)	20-21 (%)
China	543.000	447.000	444.000	458.100	472.700	26,68	3,19
Turquia	114.000	108.000	109.000	104.077	96.344	5,44	-7,43
Iran	71.000	76.000	78.000	74.293	77.152	4,35	3,85
Argentina	76.000	79.000	79.000	72.441	71.318	4,02	-1,55
Ucrânia	66.000	71.000	70.000	68.028	68.558	3,87	0,78
Estados Unidos	68.000	70.000	71.000	66.948	57.364	3,24	-14,32
Rússia	65.000	65.000	64.000	66.368	64.533	3,64	-2,76
Índia	67.000	68.000	62.000	65.250	66.278	3,74	1,58
México	51.000	64.000	62.000	54.165	62.080	3,50	14,61
Brasil	42.000	42.000	46.000	51.508	55.828	3,15	8,39
Selecionados	1.163.000	1.090.000	1.085.000	1.081.179	1.092.156	61,64	1,02
Outros	706.000	742.000	677.000	693.298	679.788	38,36	-1,95
Mundo	1.869.000	1.832.000	1.762.000	1.774.477	1.771.944	100,00	-0,14

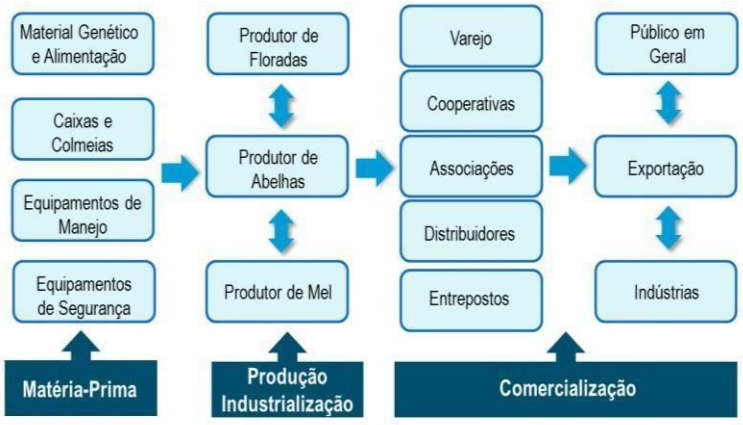
Fonte: (FAO, 2021)

O Nordeste brasileiro, em particular, destaca-se por sua rica biodiversidade, principalmente na caatinga, que oferece fontes contínuas de néctar e pólen ao longo do ano, favorecendo a produção apícola (Araújo *et al*., 2021). O mel produzido no Nordeste se destaca por suas propriedades físico-químicas e nutricionais, muitas vezes associadas a benefícios

medicinais, o que aumenta sua competitividade nos mercados nacional e internacional. Um diferencial importante do mel nordestino é a baixa contaminação por antibióticos de antibióticos e pesticidas, devido ao fato de grande parte da produção ser oriunda de vegetação nativa. Além disso, a relativa baixa umidade do ar na região contribui para a saúde das abelhas, dispensando o uso de medicamentos (Liberato & Morais, 2016; Barbosa & Pereira, 2019).

A cadeia apícola no Nordeste possui diversos canais de distribuição, que variam desde a venda direta dos apicultores ao consumidor final até a comercialização mais complexa, com múltiplos intermediários. A intermediação ocorre por meio de agentes primários, como entrepostos, associações e cooperativas. Normalmente, esses agentes se especializam na comercialização do mel, vendendo para mercados (atacados ou de varejo) ou diretamente para o consumidor final. No entanto, na maioria das vezes, o intermediário atua no canal de comercialização do mel a serviço dos entrepostos, sendo remunerado por comissões específicas na quantidade de mel comercializado conforme mostrado na Figura 04.

Figura 04. Esquema da cadeia produtiva de mel



For

A Bahia, u ção anual de 4,9 mil toneladas de mel, das quais 82% são provenientes da agricultura familiar (Moreira, 2024). Além disso, a região tem baixo nível de contaminação por pesticidas e antibióticos, uma vantagem competitiva no mercado internacional (Vidal, 2022).

Entre 2020 e 2024, a produção de mel na Bahia apresentou crescimento significativo, consolidando o estado como um dos principais produtores do país. Em 2020, a produção

alcançou 5 mil toneladas, um aumento notável em relação às 3,7 mil toneladas registrados anteriormente. Somente no ano de 2022, 141 famílias foram beneficiadas com o apoio da empresa, por meio de associações de apicultores locais e, até o presente momento, 30.990 kg de mel foram produzidos na região (Veracel, 2023). Em 2022, a Bahia manteve-se em destaque, com uma produção anual de 4.911.062 quilos de mel, dos quais 82% originários da agricultura familiar (Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional, 2022).

Figura 03. Ranking nacional e regional de produção de mel (2017-2022)

Variável/ Unidade geográfica	2017	2018	2019	2020	2021	2022[2]	2021 (%)	20-21 (%)	a.a. (%)
Produção (Quilogramas)									
Sul	**16.480.865**	**16.488.463**	**17.833.466**	**20.391.853**	**22.191.001**	**23.904.305**	**39,75**	**8,82**	**7,72**
Nordeste	**12.806.050**	**14.126.096**	**15.588.516**	**19.336.339**	**20.265.336**	**23.168.830**	**36,30**	**4,80**	**12,16**
Piauí	4.404.654	5.224.833	5.024.344	5.672.514	6.875.615	7.685.312	12,32	21,21	11,78
Bahia	3.407.361	3.039.843	3.708.261	5.017.609	4.598.600	4.956.527	8,24	-8,35	7,78
Ceará	1.776.231	2.113.192	2.677.489	3.895.743	3.763.041	4.539.927	6,74	-3,41	20,65
Maranhão	2.355.873	2.261.672	2.337.026	2.477.212	2.381.960	2.388.527	4,27	-3,85	0,28
Pernambuco	255.809	616.426	769.814	938.426	1.248.005	1.854.776	2,24	32,99	48,62
Rio Grande do Norte	174.900	364.847	479.257	598.883	582.488	786.885	1,04	-2,74	35,09
Alagoas	216.311	264.748	331.471	372.098	405.886	475.046	0,73	9,08	17,04
Paraíba	156.438	199.227	199.603	278.910	310.721	368.874	0,56	11,41	18,72
Sergipe	58.473	41.308	61.251	84.944	99.020	112.957	0,18	16,57	14,08

Fonte: Adaptado de dados da PPM - Pesquisa Pecuária Municipal (IBGE, 2023)

Na região da Costa do Descobrimento, especialmente no município de Eunápolis, a apicultura tem se consolidado como uma atividade relevante para o desenvolvimento econômico local, impulsionada por iniciativas como a Associação dos Apicultores de Eunápolis (ASOAPE). Em 2021, foi inaugurado o Entreposto de Beneficiamento de Produtos das Abelhas do Território Costa do Descobrimento, resultado de uma parceria entre a ASOAPE, os produtores locais e o Governo do Estado da Bahia. Esse entreposto fornece uma infraestrutura especial para os apicultores, facilitando a coleta, a classificação e a industrialização do mel e seus resultados.

Desde 2005, empreendimentos de base florestal atuantes no sul da Bahia têm desenvolvido iniciativas voltadas à apicultura em municípios como Eunápolis, Itabela, Guaratinga, Itagimirim e Belmonte. Tais ações envolveram, em 2020, aproximadamente 141 famílias, resultando na produção de 87 toneladas de mel. Em 2022, foram registradas 158

famílias participantes, com uma produção total de 30.990 kg. Atualmente, cerca de 37 famílias seguem envolvidas com a atividade apícola na região.

A apicultura no Brasil envolve cerca de 500 mil pessoas e desempenha um papel essencial, não apenas na produção de mel, mas também na prestação de serviços de polinização, fundamentais para diversas culturas agrícolas (Pereira *et al*., 2020). A atividade apícola é vantajosa por não exigir manutenção diária dos apiários, o que reduz os custos de produção e torna essa prática acessível economicamente. Além disso, a apicultura gera empregos, fomenta a criação de cooperativas e se torna uma fonte importante de sustento para famílias rurais (Silva *et al*., 2020).

De acordo com Escobar e Xavier (2023), o setor apícola brasileiro também impulsionou a fabricação de equipamentos para o processamento de produtos apícolas, o que se configura como uma importante alternativa de inclusão econômica. Klosowski, Kuasoki e Bonetti (2020) ressaltam a relevância ecológica da apicultura, uma vez que cerca de 70% das plantas consumidas pelos humanos dependem da polinização, principalmente realizada pelas abelhas. No Brasil, cerca de 60% das espécies cultivadas dependem da polinização animal, representando 9,5% da produção agrícola nacional (Diniz, 2017)

Nos últimos anos, a produção de mel no Brasil apresentou crescimento significativo, passando de 42,3 mil toneladas em 2018 para 51,5 mil toneladas em 2020, com um valor estimado de R$ 621,5 milhões (FAO, 2022).

3.4 Papel socioambiental do mel

O mel é amplamente valorizado por suas propriedades nutricionais e medicinais, além de desempenhar um papel cultural significativo em diversas comunidades indígenas e rurais. A produção sustentável de mel não apenas auxilia na conversação da biodiversidade, mas também fortalece práticas culturais e tradicionais, especialmente quando integrada ao manejo agroecológico (Alsadoro Maya *et al*., 2023).

No contexto do tripé da sustentabilidade (ambiental, social e econômico), o mel ocupa uma posição estratégica. Do ponto de vista ambiental, sua produção contribui para a preservação de habitats naturais e da biodiversidade, sendo essencial diante do declínio global de polinizadores causado pelas mudanças climáticas e pelo uso de químicos na agricultura.

Socialmente, a apicultura resgata saberes tradicionais, apoia comunidades locais ao gerar renda e preserva identidades culturais. Economicamente, o mercado do mel está em expansão, impulsionado pela crescente demanda por produtos orgânicos, fortalecendo cadeias produtivas sustentáveis e beneficiando a agricultura familiar (Barbiéri; Francoy, 2020; Reyes-González *et al*., 2022).

A agricultura familiar no Brasil desempenha um papel crucial na produção de alimentos e na economia rural. Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2017), esse setor representa mais de 75% dos estabelecimentos agrícolas, empregando mais de 10 milhões de pessoas, apesar de ocupar apenas 23% da área total das propriedades agropecuárias, equivalente a cerca de 80,9 milhões de hectares (Silva, 2022). A agricultura familiar é responsável por aproximadamente 70% dos alimentos consumidos internamente (Lopes *et al*., 2022; Salgado *et al*., 2020) e inclui uma diversidade de pequenos produtores, como povos e comunidades tradicionais, que enfrentam desafios como a precarização do trabalho e a falta de políticas públicas adequadas (Quijada *et al*., 2020; Neto, 2024).

De acordo com Del Grossi (2019), a definição da agricultura familiar está estabelecida no Artigo 3º da Lei nº 11.326/2006 (Brasil, 2006), que considera o produtor familiar e o empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural com predominância do trabalho familiar frente ao trabalho assalariado na condução dos trabalhos agrários e, além disso, que o mesmo não possua área maior que quatro módulos rurais.

No Brasil, a produção de mel, especialmente no contexto da agricultura familiar, tem crescido significativamente. O país se destaca como um dos maiores produtores de mel orgânico do mundo, com uma produção estimada em 46 mil toneladas em 2019 (Silva, 2024). A região Nordeste lidera essa produção, com estados como Piauí, Ceará, Bahia e Pernambuco se beneficiando da rica diversidade florística e de condições climáticas favoráveis (Silva, 2024). Desde a década de 1980, a apicultura tem sido reconhecida como um agronegócio, embora ainda enfrente desafios relacionados à adulteração e à qualidade do mel, exigindo vigilância rigorosa e práticas sustentáveis (Rolim *et al*., 2018).

A certificação do mel orgânico tem um papel fundamental na valorização da agricultura familiar e na garantia de um produto livre de adulterações. A produção orgânica não só atende à demanda crescente por alimentos saudáveis, mas também melhora a renda e a sustentabilidade dos pequenos produtores (Simões, 2021). Atualmente, a agricultura orgânica representa cerca de 90% da produção de mel no Brasil, sendo uma alternativa viável para o desenvolvimento

econômico e social dos agricultores familiares, agregando valor ao produto e reduzindo a dependência de insumos externos (Simões, 2021).

Além de garantir a qualidade e a rastreabilidade do mel, a certificação por órgãos credenciados como o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) fortalece práticas agrícolas sustentáveis, como a preservação de áreas naturais para as abelhas e o uso responsável de insumos (MAPA, 2021). Também promove inclusão social por meio da organização de cooperativas e redes de produtores familiares, possibilitando a troca de conhecimentos, a divisão de custos e a negociação coletiva, fortalecendo a posição desses produtores no mercado (Barbiéri; Francoy, 2020).

O mel certificado, portanto, não apenas assegura a sustentabilidade ambiental, mas também gera impactos sociais positivos, proporcionando renda aos agricultores, melhorando as condições de vida no campo e valorizando os saberes locais. Além disso, a apicultura tem potencial educativo, conscientizando sobre a importância das abelhas para a saúde do planeta e incentivando práticas agrícolas mais sustentáveis. A colaboração entre meliponicultores, cientistas e comunidades locais é essencial para que a apicultura contribua efetivamente para o desenvolvimento sustentável, conciliando conservação ambiental e bem-estar social.

3.5 Mel como bioindicador de qualidade ambiental

A composição geoquímica de uma cidade representa predominantemente padrões de tráfego e indústrias, incluindo produção de energia, gerenciamento de resíduos e construção (Herath *et al*., 2018; Kaushal *et al*., 2020; Järlskog *et al*., 2021). Essas atividades liberam partículas metálicas na atmosfera, que se depositam em superfícies como ruas, solo superficial e cursos d'água, resultando em concentrações elevadas de metais acima dos níveis de fundo locais (Wang *et al*., 2022). Metais potencialmente tóxicos por exemplo, Cd, Ni, Pb, Sb, Ti, V, Zn) ameaçam a saúde humana devido à sua persistência ambiental (Schiavo *et al*., 2023).

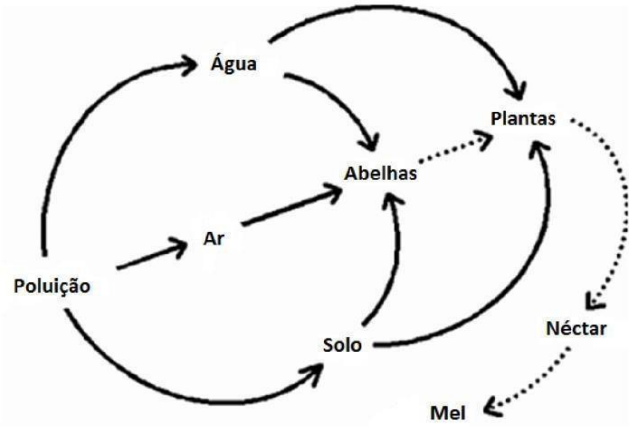
A amostragem de emissões atmosféricas de metais, como Pb, pode ser feita usando biomonitores em ambientes urbanos (por exemplo, plantas, insetos, mel). O uso de abelhas (*Apis mellifera*, a abelha europeia ou ocidental) e seus produtos (mel, melada, pólen, geleia real, néctar) é uma forma estabelecida de monitorar o ambiente em busca de minerais que

possam apresentar alguma toxicidade (Zhou *et al*., 2018 ; Smith *et al*., 2019; Smith *et al*., 2021).

Os insetos são expostos a elementos minerais por meio de alimentos e água, portanto, a maioria dos elementos minerais naturais são encontrados em seus corpos. Para insetos, os elementos minerais essenciais que têm função metabólica conhecida são Na, K, Ca, Mg, Cl e P. No entanto, as quantidades exatas que os insetos precisam não são determinadas. Alguns elementos são necessários em quantidades vestigiais para vários processos fisiológicos, mas em concentrações mais altas, esses micronutrientes tendem a ser tóxicos e desorganizar vários processos fisiológicos (Konstantin Ilijevic *et al*., 2021).

Os metais são liberados no ambiente por fontes naturais e antropogênicas e, como não se decompõem, estão continuamente presentes no ambiente, mudando de forma química e entrando em ciclos biológicos (Perugini *et al*., 2011). Metais tóxicos em abelhas e em produtos apícolas têm sido objeto de muitos estudos. Analisando a literatura relacionada a metais no ambiente e abelhas, pode-se observar que a maioria dos estudos está relacionada a diferentes aspectos das inter-relações entre o conteúdo de metais tóxicos no ambiente, abelhas e produtos apícolas (Fakhimzadeh & Lodenius, 2000; Conti e Botre, 2001; Bogdanov, 2006; Van der Steen et al., 2012; Formicki et al., 2013). Muitos autores indicam a possibilidade de utilização de abelhas e seus produtos como bioindicadores de poluição por metais tóxicos (Perugini et al., 2011; Van der Steen et al., 2012), e seu potencial no processo de biomonitoramento (Leita et al., 1996; Conti e Botre, 2001; Porrini et al., 2002; Celli e Maccagnani, 2003; Porrini et al., 2003; Perugini et al., 2011;). Alguns artigos tratam da influência do pólen no perfil de metais no mel que consumimos (Lambert et al., 2012), e alguns com avaliação de risco para humanos da ingestão alimentar de metais tóxicos presentes no mel (Ru et al., 2013; Fakhri et al., 2019).

Figura 05. Fonte naturais e antrópicas de elementos químicos no mel



Fonte: adaptado de Pohl, 2009.

O mel da abelha A. *mellifera* é um indicador eficaz para biomonitoramento, devido à sua ampla distribuição em ambientes urbanos, suburbanos e rurais, o que permite a captura de diversas interações ambientais (Cunningham *et al*., 2022; Smith, 2020). Durante o final da primavera até o início do outono, as abelhas forrageiras interagem com o ar, água, plantas e solo, atuando como amostradores passivos no pasto apícola (Solayman *et al*., 2015; Nascimento *et al*., 2017; Smith e Weis, 2022). Ao retornar à colmeia, incorpore materiais ambientais em seu corpo, os quais são transportados para as matrizes da colmeia, como pólen, mel e cera. Quando essas áreas estão contaminadas, substâncias indesejáveis podem ser introduzidas no mel através do néctar, pólen ou exsudatos açucarados de plantas que crescem em solo poluído e absorvido.

No entanto, a população de abelhas tem diminuído devido às mudanças climáticas, às alterações em seu habitat e suas características biológicas, à poluição ambiental, à expansão da agricultura e ao uso de pesticidas (Marcolin *et al*., 2021; Orso *et al*., 2016; Wang *et al*., 2022). A importância das abelhas se estende além da simples polinização, pois elas também contribuem para a biodiversidade e a manutenção dos ecossistemas (Khalifa *et al*., 2021). Esses fatores não apenas afetam a saúde das colônias de abelhas, mas também têm implicações diretas na segurança alimentar e na produção agrícola (Smith *et al*., 2022; Burkle *et al*., 2017).

A utilização de fertilizantes na agricultura é uma prática comum que visa aumentar a produtividade das culturas. Fertilizantes nitrogenados e fosfatados são frequentemente aplicados para fornecer macronutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, necessários para o desenvolvimento e nutrição das plantas (Reilly *et al*., 2020). Contudo, esses fertilizantes

podem conter compostos tóxicos, como cádmio e chumbo, que podem se acumular no solo e afetar a saúde das abelhas e a qualidade do mel (Cullen *et al*., 2019). A análise da composição química do mel pode, portanto, servir como um indicador da qualidade ambiental e da contaminação por metais potencialmente tóxicos, refletindo as condições do ambiente em que as abelhas forrageiam (Burkle *et al*., 2017; Cullen *et al*., 2019), uma vez que visitam um território maior do que a maioria dos organismos terrestres (Zarić *et al*., 2022). Em outro estudo (Taylor *et al*., 2023), os autores afirmam que a composição química do mel reflete as quantidades de substâncias existentes em toda a região de forrageamento das abelhas, de modo que o mel pode servir como um bom indicador biológico.

Contudo, a literatura (Oliveira, Nagashina et al., 2018; Smith et al., 2019; Vásic *et al*., 2020; Leal et al., 2022; Joseph, 2023; Kastrati et al., 2024; Antônio et al., 2024; Campos et al., 2024; Haider *et al*., 2024;) comprova e determina a composição multielementar de metais (essenciais e tóxicos) em amostras de mel com o intuito de determinar e quantificar minerais presentes no mel, mas isso vem se provando um grande desafio analítico, pelo fato do mel ser um alimento rico em açúcar, podendo apresentar interferências da matriz nas análises. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento de práticas agrícolas adequadas nas proximidades dos apiários e servem como um alerta para a população sobre os danos que a poluição ambiental, mesmo em pequenas quantidades.

Maiores concentrações de metais pesados, como: As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb no mel são geralmente encontradas em locais onde ocorrem atividades industriais, como minas, fundições, processos tecnológicos industriais e outros processos urbanos. Além disso, metais pesados no mel podem resultar do uso de agroquímicos, como pesticidas contendo arsênio ou fertilizantes contendo mercúrio orgânico ou cádmio (Kastrati et al., 2023)

Portanto, a análise de mel está sendo cada vez mais usada para biomonitoramento da poluição atmosférica e dos impactos gerados por várias atividades industriais (Shi *et al*., 2023, Taylor *et al*., 2023). A composição química do mel, que incorpora substâncias presentes na região de forrageamento das abelhas, pode fornecer informações valiosas sobre a qualidade do ambiente e a exposição a contaminantes (Eeraerts *et al*., 2020).

3.6 Propriedades funcionais do mel

Uma alimentação saudável é essencial para a manutenção da saúde e do bem-estar, pois fornece, com qualidade, os nutrientes necessários para o adequado funcionamento do organismo, contribuindo para a prevenção de diversas doenças (Dai et al., 2024; Sanchez-Siles et al., 2022). Nesse contexto, o mel se destaca como um alimento natural de elevado valor nutricional e medicinal.

Rico em açúcares, vitaminas, minerais, proteínas e antioxidantes, o mel pode atuar como um substituto saudável do açúcar refinado. Além de seu valor nutricional, suas propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias conferem-lhe relevância tanto na alimentação quanto em práticas terapêuticas tradicionais. A incorporação do mel a uma dieta equilibrada pode promover benefícios à saúde física e ao bem-estar emocional, oferecendo um sabor naturalmente doce e nutritivo (Kumar, 2024; Luca et al., 2024).

O mel é amplamente reconhecido por seus benefícios à saúde, incluindo propriedades terapêuticas e melhoria das funções metabólicas do organismo. Rico em enzimas como amilase (que decompõe amido e glicogênio em maltose e dextrina), invertase e glicose-oxidase, o mel também contém uma variedade de aminoácidos, como histidina, ácido glutâmico, treonina, prolina, arginina, entre outros (Saba *et al*., 2013).

Além disso, o mel exibe propriedades antibacterianas, antioxidantes, anticancerígenas e anti-inflamatórias. Sua ação anti-inflamatória atua de forma protetora ao fígado contra os efeitos degenerativos de diversos medicamentos (Pleeging *et al*., 2022) e está associada à cicatrização de feridas devido à sua capacidade imunomoduladora (Khan *et al*., 2018). As vitaminas hidrossolúveis, em especial a vitamina C, são as mais abundantes no mel, enquanto as lipossolúveis, como as do complexo B, estão presentes em menores concentrações. (Bogdanov *et al*., 2008; Chua *et al*., 2013). Estudos também indicam que o mel pode restaurar a estrutura do tecido hepático e melhorar os marcadores bioquímicos de função hepática em modelos experimentais de toxicidade (Afroz *et al*., 2014). Além disso, o mel estimula a produção de H_2O_2, favorecendo o crescimento de células epiteliais e fibroblastos, o que auxilia na reparação de danos inflamatórios.

O mel se destaca não apenas por suas diversas propriedades benéficas, mas também por sua potente atividade antimicrobiana. Esse efeito resulta de várias características intrínsecas, como a ação da enzima glicose-oxidase. Secretada por glândulas localizadas na cabeça das abelhas, essa enzima catalisa a conversão da glicose, na presença de água e oxigênio, em ácido

glucônico e peróxido de hidrogênio - compostos conhecidos por sua capacidade antioxidante e antimicrobiana. O peróxido de hidrogênio, em particular, ataca a estrutura dos microrganismos, garantindo a esterilidade do mel durante sua maturação. Além disso, minerais como ferro e cobre, presentes no mel, podem reagir com o peróxido de hidrogênio, gerando radicais hidroxila altamente reativos, que potencializam sua ação antimicrobiana (Mustafa et al., 2020; Borges et al., 2021).

O mel também possui propriedades antimicrobianas, sendo capaz de inibir até 60 espécies de bactérias, incluindo gram-negativas e gram-positivas (Hbibi *et al*., 2020; Anand *et al*., 2019). Sua eficácia antifúngica é atribuída aos compostos fenólicos, conhecidos por inibir o crescimento de diversos patógenos, incluindo fungos (Afrin *et al*., 2017). A concentração desses compostos, assim como o tipo de mel, pode influenciar significativamente essa atividade.

Atualmente, muitos estudos analisam a composição do mel e investigam suas propriedades físico-química que podem dar origem à sua capacidade de atuar contra diversos microrganismos responsáveis pelo desenvolvimento de doenças (Combarros-Fuerteset *et al*., 2020; Nolan; Harrison; Cox, 2019). Há um aumento no interesse pelo mel como um recurso natural que pode ser utilizado em tratamentos de saúde e terapias sem efeitos colaterais (Samarghandian *et al*., 2017). Assim, nas últimas décadas, o interesse científico tem se concentrado no estudo da atividade antibacteriana de vários tipos de mel contra patógenos clínicos e também de origem alimentar (Balázs *et al*., 2023; Combarros-Fuertes, Fresno, *et al*., 2020; Faúndez *et al*., 2023; Skadiņš et al., 2023; Stavropoulou et al., 2023).

Em termos antioxidantes, o mel estimula a ativação de biomoléculas como carboidratos, proteínas e lipídios, promovendo uma resposta celular antioxidante (Biluca *et al*., 2020). Sua alta concentração de antioxidantes também reduz o estresse oxidativo, melhora a secreção de insulina e aumenta o armazenamento de glicogênio no fígado, prevenindo danos ao coração e cérebro (Pasupuleti *et al*., 2020).

Quanto à cicatrização de feridas, o mel tem se mostrado eficaz no tratamento de lesões como queimaduras crônicas e pés diabéticos, acelerando o processo de cicatrização e inibindo a proliferação bacteriana (Schuhladen *et al*., 2020). Os compostos bioativos do mel são fundamentais para a proteção contra danos oxidativos e podem ajudar a mitigar a inflamação crônica, que está frequentemente associada a processos de cicatrização inadequada (Nassar *et al*., 2020)

Em termos de ação anticancerígena, de acordo com a literatura (Dżugan et al., 2024 , Palma-Morales et al., 2023 , Aga et al., 2023), o mel atua despolarizando a membrana mitocondrial, induzindo a morte de células cancerígenas, incluindo câncer de mama, colo do útero e cólon (Bogdanov, 2017; Waheed *et al*., 2019; Kudva *et al*., 2020). Ele inibe o crescimento tumoral regulando negativamente proteínas, interrompendo o ciclo celular e promovendo a apoptose.

3.7 Composição química do mel

A composição e as propriedades químicas do mel dependem da natureza botânica da origem do néctar (Li *et al*., 2022). O teor de água presente no mel está relacionado a diferentes fatores, como a origem botânica e geográfica do néctar, as condições edafoclimáticas, a época da colheita, o grau de maturação do mel no favo, e as boas práticas de colheita, processamento e armazenamento do mesmo.

A umidade do mel, geralmente varia em torno de 13% a 25%, sendo ideal em torno de 17%. Teores de umidade elevados (acima de 18%) podem levar à fermentação, pois a pressão osmótica do açúcar não impede a proliferação de leveduras osmofílicas (Machado-de-Melo, et al., 2017) osmofílicas

Estudos demonstram que um teor de umidade superior a 20% pode resultar em fermentação, levando à degradação do mel e à formação de subprodutos indesejáveis, como etanol e ácido acético (Mäkelä et al., 2018). A presença de leveduras osmofílicas, como Saccharomyces *cerevisiae*, pode ser favorecida em condições de alta umidade, resultando em alterações sensoriais e nutricionais no produto final (Silva, 2022).

A umidade afeta outras propriedades do mel, como cor, viscosidade e sabor, e sua tendência a absorver umidade do ambiente durante o processamento e armazenamento. A atividade de água (aw), que mede a água disponível para microrganismos, é um critério essencial para a qualidade do mel, sendo mais relevante do que o conteúdo de umidade. A aw do mel varia de 0,55 a 0,75, e valores abaixo de 0,60 inibem o crescimento de leveduras que causam fermentação (Ramalhosa *et al*., 2011). A atividade de água depende da composição de açúcares, cristalização e condições ambientais, e é um parâmetro importante para prever a estabilidade do mel e sua interação com o ambiente.

O mel contém uma série de compostos bioativos em sua composição, mesmo que presentes em quantidades vestigiais, dentre eles estão os aminoácidos, vitaminas, minerais,

ácidos orgânicos, ácidos fenólicos, flavonoides e grãos de pólen, que conferem cor, aroma e sabor característicos ao produto (Silva, 2016; Pereira *et al*., 2020; Bandeira *et al*, 2018; Dourados *et al*, 2020).

O mel tem sido utilizado há séculos como adoçante e fonte de energia. Com uma composição complexa, destaca-se pelos açúcares, que são seus principais constituintes, tornando-o uma solução supersaturada de açúcar. Cerca de 70% do mel é composto por monossacarídeos, como glicose e frutose, 10% por dissacarídeos, como a sacarose, e 18% por água.

A presença da alta sacarose pode indicar que o mel foi colhido prematuramente, antes da completa conversão de sacarose para frutose e glicose, resultando em um produto considerado imaturo (Lopes, 2013). A elevada quantidade de sacarose no mel pode ocorrer porque nem toda a sacarose do néctar é hidrolisada pela enzima invertase (Sabatini, 2007). Altos níveis de sacarose estão relacionados à origem botânica do mel, sua imaturidade, alto fluxo de néctar ou alimentação artificial das abelhas.

Tabela 01. Composição química do mel (nutrientes presentes em 100g de mel)

Nutrientes	Componentes presentes em 100 g de mel
Agua	17,1 g
Carboidratos (totais)	82,4 g
Frutose	38,5 g
Glucose	31 g
Maltose	7,2 g
Sacarose	1,5 g
Proteínas, Aminoácidos, Vitaminas e Minerais	0,5 g

Fonte: Venturini, Sarcinelli e Silva (2007)

O teor de açúcar do mel é influenciado por fatores como origem botânica e geográfica, clima, e as práticas de processamento (Garcia *et al*., 2018). A maturação do mel e as condições de armazenamento alteram sua composição de açúcares (Escuredo *et al*., 2014). Durante o armazenamento, o conteúdo de monossacarídeos diminui, enquanto o de oligossacarídeos aumenta devido à atividade enzimática e à reversão ácida (Machado-de-Melo *et al*., 2017). A degradação dos açúcares, desidratação catalisada por ácidos das hexoses ou reações de Maillard, onde açúcares reagem com aminoácidos, escurecem o mel. Esse processo pode ocorrer também por reações de caramelização, em que os açúcares se decompõem em

compostos mais complexos, resultando em uma coloração mais escura, especialmente em temperaturas elevadas e ambientes quentes (Santos; Angulo; Santos, 2021).

A cristalização do mel é fortemente influenciada pela proporção de glicose e frutose, sendo que méis com alto teor de glicose cristalizam mais facilmente devido à menor solubilidade desse açúcar em água. Fatores como umidade, temperatura de armazenamento e presença de cristais primários também afetam a cristalização, podendo aumentar a atividade de água do mel e promover a fermentação por leveduras osmofílicas. Além disso, o armazenamento em temperaturas elevadas pode levar à degradação de compostos bioativos presentes no mel, como flavonoides e ácidos fenólicos, afetando suas propriedades funcionais (Khan *et al*., 2021).

Os aminoácidos têm sido amplamente estudados devido aos seus benefícios à saúde, especialmente pelas propriedades antioxidantes, que ajudam na neutralização de radicais livres no organismo (Aifrin *et al*., 2017). Estudos identificaram cerca de 23 aminoácidos presentes no mel, incluindo prolina, ácido glutâmico, alanina, fenilalanina, tirosina, leucina, isoleucina, lisina, metionina, histidina, arginina, ácido aspártico, triptofano, serina, valina e treonina (Bosi *et al*., 1978; Selvaraju *et al*., 2019; Tahir *et al*., 2019; Lozowicka *et al*., 2021; Liu, 2023). Entre eles, a prolina é destacada como o aminoácido mais abundante e sendo utilizada como um indicador da qualidade do mel.

A presença de aminoácidos no mel é atribuída tanto a fontes animais (secreções das abelhas) quanto vegetais (néctar e pólen, principalmente). A prolina, que compõe entre 50% a 85% dos aminoácidos livres no mel, é proveniente principalmente das secreções salivares das abelhas durante a transformação do néctar em mel. Devido a essa origem, a prolina não é considerada um indicador confiável da origem botânica do mel, mas sua concentração pode estar relacionada ao conteúdo enzimático, desempenhando um possível papel na regulação da atividade enzimática, especialmente na secreção de invertase durante o processo de transformação do néctar em mel.

O mel natural contém enzimas essenciais que influenciam diretamente suas propriedades e qualidade, como a diástase, invertase e glicose-oxidase. A diástase e a invertase são produzidas nas glândulas hipofaríngeas das abelhas, enquanto a glicose-oxidase converte glicose em ácido glucônico e peróxido de hidrogênio, proporcionando ao mel suas propriedades antimicrobianas (Miłek *et al*., 2021; Oddo; Piazza; Pulcini, 1999).

Essas enzimas são consideradas termolábeis e podem ser usadas como indicadores de envelhecimento ou superaquecimento, pois suas atividades diminuem em tais condições. Em

geral, méis derivados de fluxos rápidos de néctar contêm menos enzimas, devido ao menor tempo de processamento pelas abelhas. Néctares com maior teor de açúcar também exigem menos manipulação, resultando em menor conteúdo enzimático, especialmente de diástase e invertase (Crane, 1980; Branco, 1979). A atividade enzimática do mel é influenciada por fatores como temperatura, fluxo de néctar, estado fisiológico das abelhas e força da colônia (Miłek *et al*., 2021; Pimentel *et al*., 2013).

A diástase, conhecida por sua resistência ao calor, é frequentemente usada como indicador de frescor do mel, sendo regulada por legislações específicas. Ela hidrolisa amido e dextrinas em carboidratos menores, embora sua função no mel ainda não seja totalmente compreendida, dado que o néctar não contém amido. No entanto, acredita-se que desempenhe um papel na digestão do pólen pelas abelhas (Kamal *et al*., 2019).

A invertase (α-glicosidase) é uma enzima importante no mel, responsável por converter o néctar em mel ao hidrolisar sacarose em frutose e glicose, além de gerar oligossacarídeos intermediários. Essa enzima mantém sua atividade após a extração e durante o armazenamento, contribuindo para a estabilidade e o alto valor energético do mel (Sajid *et al*., 2020). Embora fatores como temperatura e condições de armazenamento possam afetar a atividade da invertase, estudos indicam que, em condições adequadas, ela permanece relativamente estável (Sramek *et al*., 2016; Dimiņš *et al*., 2019; Sahin; Kolayli; Beykaya, 2020).

A glicose-oxidase degrada a glicose em gluconolactona, que por sua vez produz ácido glucônico, responsável pela acidez do mel e liberando pequenas quantidades de peróxido de hidrogênio, composto responsável pela resistência microbiana do mel. Essa reação é mais rápida em mel imaturo ou durante desumidificação dentro da colmeia, sendo mais lenta em méis secos. A produção de peróxido de hidrogênio protege o mel da decomposição bacteriana, até atingir uma determinada concentração de açúcar suficiente para evitar o crescimento microbiano devido à sua pressão osmótica, quando o mel não é diluído, o teor de ácido glucônico diminui o pH, inibindo assim a atividade enzimática. (Taormina; Niemira; Beuchat 2001; Proano *et al*., 2021).

Apesar de sua presença relativamente menor, os compostos fenólicos são um dos constituintes do mel mais estudados devido às suas atividades biológicas bem conhecidas e também podem ser potencialmente usados para identificar ou confirmar a origem botânica dos méis. A maioria dos marcadores florais no mel, que são derivados do néctar de plantas melíferas, são flavonóides ou ácidos fenólicos. A identificação desses compostos no mel pode, portanto, ser uma ferramenta importante para o reconhecimento de seu tipo floral. Além disso, os

compostos fenólicos também são usados para monitorar a qualidade do mel, a fim de escolher as melhores práticas de processamento (Campone *et al*., 2014; Zhu *et al*., 2019; González-Ceballos *et al*., 2020).

Os ácidos fenólicos, uma importante classe de compostos presentes em produtos vegetais, desempenham funções bioativas e têm propriedades antioxidantes, que ajudam a eliminar radicais livres e inibir a oxidação lipídica, e, assim, desempenham um papel crucial na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo (Islam *et al*., 2012). A concentração e o perfil de compostos fenólicos em méis variam amplamente, dependendo da origem botânica e geográfica do mel, bem como de sua classificação (Karabagias *et al*., 2016; Becerril-Sanchéz *et al*., 2021). Além disso, a composição química e a atividade antioxidante do mel podem ser influenciadas por variáveis como temperatura, umidade, disponibilidade de flores e mudanças climáticas e técnicas de processamento (Lianda *et al*., 2021; Garcia *et al*., 2018).

Assim, o mel oferece uma série de benefícios a saúde como redução do risco de doenças cardiovasculares, gastrointestinais, respiratório e na redução de deficiência do sistema imunológico e de processos inflamatórios (Silva, 2016; Cianciori *et al*., 2018; Ranneh *et al*., 2021).

A presença de compostos bioativos no mel, como flavonoides e ácidos fenólicos, contribui para esses efeitos benéficos, pois atuam sinergicamente para melhorar a saúde geral e prevenir doenças crônicas (Moura *et al*., 2015; Reis *et al*., 2021). A diversidade de compostos fenólicos encontrados no mel, resultante de sua origem floral, é um fator determinante na eficácia de suas propriedades antioxidantes e na promoção da saúde. Essa variação ocorre porque diferentes espécies vegetais produzem metabólitos secundários distintos, influenciando tanto a quantidade quanto o perfil desses compostos no néctar coletado pelas abelhas. Além disso, fatores sazonais e ambientais, como temperatura, disponibilidade hídrica e qualidade do solo, impactam a síntese de compostos fenólicos nas plantas, refletindo-se na composição química do mel. Dessa forma, méis provenientes de floradas específicas e diversificadas em diferentes períodos do ano podem apresentar variações na capacidade antioxidante e nos seus efeitos biológicos (Gregorio & Oliveira, 2021; Zopellaro *et al*., 2019).

Além disso, o mel exibe propriedades antibacterianas, antioxidantes, anticancerígenas e anti-inflamatórias. Sua ação anti-inflamatória atua de forma protetora ao fígado contra os efeitos degenerativos de diversos medicamentos (Pleeging *et al*., 2022) e está associada à cicatrização de feridas devido à sua capacidade imunomoduladora (Khan *et al*., 2018). As vitaminas hidrossolúveis, especialmente a vitamina C, são predominantes no mel, com menores

concentrações de vitaminas lipossolúveis, como as do complexo B (Bogdanov *et al*., 2008; Chua *et al*., 2013). Estudos também indicam que o mel pode restaurar a estrutura do tecido hepático e melhorar os marcadores bioquímicos de função hepática em modelos experimentais de toxicidade (Afroz *et al*., 2014). Além disso, o mel estimula a produção de H_2O_2, favorecendo o crescimento de células epiteliais e fibroblastos, o que auxilia na reparação de danos inflamatórios (Ahmed *et al*., 2018; Mustafa *et al*., 2020).

O mel também possui propriedades antimicrobianas, sendo capaz de inibir até 60 espécies de bactérias, incluindo gram-negativas e gram-positivas (Hbibi *et al*., 2020; Anand *et al*., 2019). Sua eficácia antifúngica é atribuída aos compostos fenólicos, conhecidos por inibir o crescimento de diversos patógenos, incluindo fungos (Afrin *et al*., 2017). A concentração desses compostos, assim como o tipo de mel, pode influenciar significativamente essa atividade.

Em termos antioxidantes, o mel estimula a ativação de biomoléculas como carboidratos, proteínas e lipídios, promovendo uma resposta celular antioxidante (Biluca *et al*., 2020). Sua alta concentração de antioxidantes também reduz o estresse oxidativo, melhora a secreção de insulina e aumenta o armazenamento de glicogênio no fígado, prevenindo danos ao coração e cérebro (Pasupuleti *et al*., 2020).

Quanto à cicatrização de feridas, o mel tem se mostrado eficaz no tratamento de lesões como queimaduras crônicas e pés diabéticos, acelerando o processo de cicatrização e inibindo a proliferação bacteriana (Schuhladen *et al*., 2020). Os compostos bioativos do mel são fundamentais para a proteção contra danos oxidativos e podem ajudar a mitigar a inflamação crônica, que está frequentemente associada a processos de cicatrização inadequada (Nassar *et al*., 2020)

Em termos de ação anticancerígena, o mel atua despolarizando a membrana mitocondrial, induzindo a morte de células cancerígenas, incluindo câncer de mama, colo do útero e cólon (Bogdanov, 2017; Waheed *et al*., 2019; Kudva *et al*., 2020). Ele inibe o crescimento tumoral regulando negativamente proteínas como a ciclooxigenase e ornitina descarboxilase, interrompendo o ciclo celular e promovendo a apoptose.

3.8 Composição mineral

Os minerais são nutrientes inorgânicos essenciais à vida, desempenhando funções vitais nos processos celulares do organismo humano. No mel, esses minerais podem ser classificados em macroelementos e microelementos, de acordo com a quantidade necessária para a manutenção das funções biológicas.

Os macroelementos, incluindo Ca, P, K, Na, Cl, Mg e S, são exigidos pelo organismo em quantidades superiores a 100/mg por dia para um adulto. Esses elementos são fundamentais para a regulação do equilíbrio hídrico, a formação de ossos e dentes, a transmissão de impulsos nervosos, além de participarem de processos metabólicos essenciais (Solayman *et al*., 2016; Haider *et al*., 2022).

Já os microelementos, também conhecidos como elementos traço, são necessários em quantidades muito menores, geralmente na ordem de microgramas (µg) por dia. Entre eles, destacam-se ferro Fe, cobre Cu, Zn, Co, Mn, I, F, Se, Cr e Si. Esses elementos desempenham papéis essenciais em diversas funções fisiológicas, como a atividade enzimática, a síntese de hormônios, a manutenção do sistema imunológico e a regulação de processos metabólicos fundamentais para a saúde humana (Silva *et al*., 2020; Scripcă & Amariei, 2021).

Por outro lado, certos minerais podem representar riscos à saúde humana quando presentes em quantidades elevadas. Elementos como alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) são classificados como potencialmente tóxicos. Sua presença em alimentos pode estar relacionada à contaminação ambiental, sendo monitorada por órgãos reguladores para garantir a segurança alimentar.

A Portaria nº 31, de 13 de janeiro de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), define como nutriente essencial toda substância normalmente consumida para o crescimento, desenvolvimento e manutenção da saúde, mas que não é biossintetizada pelo organismo ou é produzida em quantidades insuficientes para atender às necessidades biológicas.

Diversas definições têm sido propostas, mas a mais amplamente aceita estabelece que um elemento é essencial para a vida se sua retirada da dieta resultar em um comprometimento consistente e reprodutível de uma função fisiológica. Dessa forma, a ingestão inadequada, seja por deficiência ou excesso, pode causar impactos negativos à saúde. Enquanto a baixa ingestão prolongada pode levar ao desenvolvimento de sinais de deficiência, o consumo excessivo pode resultar em toxicidade.

Felizmente, o organismo conta com um mecanismo chamado homeostase, que permite a manutenção dos níveis adequados de nutrientes nos tecidos. Esse processo envolve o controle

da absorção, metabolismo, excreção e armazenamento dos nutrientes, garantindo que suas concentrações permaneçam dentro de uma faixa segura. Sem a homeostase, a regulação dos níveis de nutrientes seria extremamente complexa, tornando o equilíbrio nutricional mais difícil de ser alcançado.

Os minerais estão presentes no mel em percentuais baixos, variando entre 0,04% e 0,2% (Cu, Fe, Mn, Zn e etc.) devido às influências geográficas e sazonais e outros, como Ca, K, Na e Mg, podem ter seus valores aumentados de acordo as condições ambientais (Ataide de Oliveira *et al*., 2020; Chudzinska *et al*., 2012; Leme *et al*., 2014; MAPA, 2010). A avaliação da composição mineral em alimentos com elevados teores de açúcar, podem gerar interferências espectrais na quantificação, pela necessidade de um rigoroso pré-tratamento da amostra para eliminação de substâncias indesejáveis que possam gerar alterações durante a análise. No que diz respeito às normas da União Europeia, a Directiva 2001/110/CE do Conselho, de 20 de Dezembro de 2001 (Conselho, 2002) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2000) o mel de néctar não pode conter mais de 0,6% de substâncias minerais. O teor de macro e microelementos no mel pode variar significativamente, com os méis claros apresentando uma concentração média de 0,04% e os méis escuros chegando a até 0,2%. Essa variação é influenciada por fatores como a origem geográfica, a composição do solo, as condições regionais e as mudanças climáticas nas áreas de forrageamento das abelhas. Assim, o perfil mineral do mel pode atuar como um indicador da sua origem botânica (Santos *et al*., 2008; Alqarni *et al*., 2012; Ito *et al*., 2018).

A relação entre o conteúdo mineral e a cor do mel é bem estabelecida, com méis mais escuros geralmente apresentando maior concentração mineral em comparação aos méis mais claros. Estudos indicam que méis escuros, como os de castanheiro e melada, possuem maiores teores de potássio K, Ca, Fe e P do que méis claros, como os de acácia e cítricos.

A origem geográfica influencia significativamente a composição mineral e a capacidade antioxidante do mel, permitindo a distinção entre méis de diferentes regiões com base nesses parâmetros. Regiões específicas podem produzir méis com maiores atividades antioxidantes devido às características do solo e da vegetação local. Da mesma forma, a origem botânica, determinada por meio da análise de pólen, impacta os perfis antioxidantes e minerais do mel. Méis uniflorais provenientes de plantas como goldenrod e trigo-sarraceno são notáveis por sua elevada capacidade antioxidante.

O mel é rico em minerais, destacando-se o potássio, seguido por cálcio, sódio e magnésio. Méis escuros geralmente apresentam maiores concentrações desses elementos, além

de ferro, zinco e manganês, o que se associa a uma atividade antioxidante mais elevada. Essa correlação está relacionada também à maior presença de compostos fenólicos e flavonoides nesses méis, confirmada pela associação positiva entre a cor (absorbância) e o potencial antioxidante.

Apesar da tendência de méis escuros possuírem maior teor mineral, algumas variações ocorrem: méis claros podem conter níveis mais altos de potássio e fósforo, enquanto os escuros concentram ferro e zinco. Em síntese, a coloração do mel reflete sua composição química e está diretamente ligada à sua capacidade antioxidante.

De acordo a literatura (Paul *et al*., 2017; Ito *et al*., 2018, Di Rosa *et al*., 2019; Oliveira *et al*., 2019; Louppis *et al*., 2019; Leal *et al*., 2022; Kastrati, 2023; Schiavo *et al*., 2023; Campos *et al*., 2024, Antonio *et al*., 2024 Mongi, 2024) identificaram a composição mineral em amostras de mel em diversos países do mundo, e dentre os minerais ao mais identificados foram Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, K, Na e Zn. Entre esses minerais, o potássio é o que apresenta a maior concentração (Vanhanen *et al*., 2011; Biluca *et al*., 2016; Di Bela *et al*., 2021).

A dinâmica dos nutrientes nas zonas costeiras é determinada por processos naturais e antrópicos. A deposição de sais marinhos, transportados por poeira e aerossóis, é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da concentração de potássio no solo (Antunes & Ramísio, 2016). Além disso, a urbanização e a agricultura influenciam na disponibilidade desse nutriente, especialmente pelo uso de fertilizantes, que pode elevar seus níveis no solo, impactando a fertilidade e a produtividade agrícola.

Nas regiões costeiras, a maresia transporta partículas ricas em sais minerais, especialmente potássio, que se depositam no solo e influenciam a composição das plantas utilizadas pelas abelhas como fonte de néctar. A vegetação exposta ao ambiente marinho tende a acumular concentrações elevadas desse mineral, refletindo-se diretamente no néctar e, consequentemente, no mel. Ecossistemas como manguezais e restingas, adaptados à salinidade, podem apresentar teores ainda mais altos de potássio, absorvidos pelas raízes e transferidos para as flores. Nessas áreas, tanto o potássio quanto o sódio podem atingir concentrações até dez vezes superiores devido à influência do aerossol marinho (Terrab et a 2003)

Fatores como erosão costeira e intervenções humanas também afetam a qualidade do solo e a dinâmica sedimentar. Atividades como mineração e expansão urbana podem alterar o armazenamento de nutrientes, influenciando a biodiversidade e o equilíbrio ecológico da região (Martins et al., 2016). Assim, a concentração de potássio nas áreas litorâneas resulta da

interação entre processos físicos, químicos e intervenções humanas, afetando tanto a vegetação local quanto a composição do mel produzido.

Contudo, a concentração de elementos no mel também pode ser impactada por fatores antropogênicos, resultando na presença de elementos tóxicos, como Al, Ba, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn (Buldini et *al*., 2001; Oliveira *et al*., 2019). A ingestão de mel contaminado, mesmo em níveis baixos, pode ter efeitos prejudiciais à saúde devido ao consumo contínuo. O Codex Alimentarius (2000) determina que o mel deve estar livre de metais pesados em quantidades que representem riscos à saúde humana, embora não haja diretrizes específicas para oligoelementos. Na União Europeia, a legislação estabelece um limite máximo para o teor de chumbo no mel, fixado em 0,1 mg/kg (Ploegaerts *et al*., 2023).

3.9 Classificação do mel de A. *mellifera*

No Brasil, a Instrução Normativa nº 11 de 20 de outubro de 2000 dispõe o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel (RTQI), que ressalta a identidade e os requisitos mínimos de qualidade que o mel deve possuir para ser consumido. De acordo com a instrução, o mel pode ser classificado de acordo com a sua origem floral, procedimento de obtenção e apresentação e/ou processamento (Brasil, 2000; Embrapa, 2023).

Ainda a Legislação Brasileira (2000), devido à biodiversidade, os méis podem ser classificados como unifloral ou monofloral quando provenientes de flores de uma mesma família; ou multifloral ou polifloral quando obtidos a partir de diferentes origens botânicas. Em relação ao mel de melato, a mistura pode ocorrer naturalmente nas próprias colmeias quando se tem a disponibilidade de néctar e de melato, combinação que ocorre especialmente nos períodos de início do verão e final do inverno no Brasil (Bergamo *et al*., 2019; Marenda *et al*., 2011). O mel polifloral também é conhecido como silvestre, e o mel de melato como extrafloral (Maria; Moreira, 2001). Essa mistura de méis também é considerada como mel de melato pelos órgãos regulamentadores, desde que os Parâmetros de Identidade e Qualidade sejam atendidos (Brasil, 2000; Mercosul, 1999)

Ainda, segundo a legislação, o mel pode ser classificado conforme o procedimento de obtenção do mel do favo de: mel escorrido, o qual é obtido pelo escorrimento do mel dos favos desoperculados; mel prensado, obtido por meio da prensagem dos favos; mel centrifugado, obtido pela centrifugação dos favos desoperculados. Além disso, o mel pode ser classificado de acordo a sua apresentação e/ou processamento, sendo este em estado líquido, cristalizado ou

semi-cristalizado; e mel em favo, quando o mel é comercializado nos favos operculados; em mel com pedaços de favos, quando o mel contém um ou mais pedaços de favos; em mel cristalizado, quando este, devido a processos naturais, encontrasse no estado sólido; em mel cremoso, quando este apresenta uma estrutura cristalina e fina podendo ter sido submetido a um processo de alteração de seu estado físico; e em mel filtrado, quando o processo de filtração é utilizado, mas sem acarretar nas propriedades nutricionais do produto (Brasil, 2000; Mercosul, 1999).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos no Brasil e no mundo para caracterizar o mel produzido em diferentes regiões, indicando diversos parâmetros físicos e químicos (dos Santos Silva *et al*., 2024; Gregar *et al*., 2024; Luccas *et al*., 2022).

3.10 Parâmetros físico-químicos

Ao realizar análises em méis, é comum encontrar variações na sua composição física e química, tendo em vista que variados fatores interferem na sua qualidade, como condições climáticas e da geomorfologia da região, estádio de maturação, espécie de abelha, processamento e armazenamento, além do tipo de florada (Mendes, 2009).

No Brasil, a Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000, aprovou o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel, revogando a Portaria nº 367 de 04 de 21 de setembro de 1997. A instrução estabelece os requisitos mínimos que garantem a qualidade do produto para comercialização. Apresentando sobre o mel, a definição, classificação, composição, características físico-químicas, armazenamento, aditivos, contaminantes, higiene, critérios macroscópicos e microscópicos, rotulagem e métodos de análises para o produto (BRASIL, 2000; Embrapa, 2023).

Tabela 02. Parâmetros físico-químicos do mel segundo legislação brasileira.

Parâmetros	**Especificação**	
	Mel Floral	**Melato**
Cor	Variável	Variável
Açúcares redutores (g/100g)	Mínimo 65	Mínimo 60
Sacarose aparente (g/100g)	Máximo 6	Máximo 15
Umidade (g/100g)	Máximo 20	

Sólidos insolúveis em água (g/100g)	Máximo 0,1	
Minerais – cinzas (g/100g)	Máximo 0,6	Máximo 1,2
Acidez (mEq/kg)	Máximo 50	
Atividade diastásica (escala Göthe)	Mínimo 8 (ou 3 se HMF inferior a 15 mg/kg)	
Hidroximetilfurfural (mg/kg)	Máximo 60	

Fonte: Adaptado de BRASIL (2000).

O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel (Brasil, 2000) proíbe a adição de quaisquer açúcares ou de substâncias estranhas à composição original do mel e todo mel destinado ao consumo humano deve apresentar alguns requisitos mínimos de qualidade. As análises físico-químicas indicadas pela legislação brasileira para o controle de qualidade do mel puro de A. mellífera são: quanto à maturidade (açúcares redutores, umidade, sacarose aparente), pureza (sólidos insolúveis em água), e deterioração (acidez, atividade diastásica e hidroximetilfurfural-HMF).

3.10.1 Maturidade

O mel é composto principalmente por açúcares, sendo os monossacarídeos glicose e frutose os mais abundantes, além de dissacarídeos e outros açúcares. A frutose, por ser o açúcar mais doce, é a principal responsável pela doçura do mel (Camargo *et al*., 2006).

Os monossacarídeos, como glicose e frutose, possuem uma estrutura química com um grupo carbonila que os classifica como açúcares redutores. Esse grupo carbonila livre em solução alcalina atua como agente redutor de íons metálicos, como os férricos (Fe^{3+}) e cúpricos (Cu^{2+}), permitindo que esses açúcares reduzam compostos químicos, como íons de cobre e prata (Barreiros, 2012).

A presença de açúcares redutores no mel, como a glicose e a frutose, é um indicador importante de sua qualidade, autenticidade e frescor. Com o tempo, esses açúcares podem se converter em outros compostos, como ácidos, perdendo sua capacidade redutora. A legislação brasileira exige que o mel contenha no mínimo 65% de açúcares redutores; valores inferiores podem sugerir adulteração com sacarose (Brasil, 2000).

Os açúcares redutores correspondem a cerca de 80% da composição total do mel, sendo cruciais para propriedades como viscosidade, cristalização e densidade. A glicose, que possui baixa solubilidade, tende a cristalizar o mel quando sua concentração excede 30%, enquanto a

frutose, com sua alta higroscopicidade, permanece em solução. Essa interação entre os açúcares é o que determina o comportamento físico do mel.

Os açúcares não redutores não possuem grupamentos aldeído ou cetona livres em sua estrutura molecular, o que os impede de agir como agentes redutores de íons cobre (Cu^{2+}) e prata (Ag^{2+}) em soluções alcalinas (Demiate *et al*., 2002). No mel, o açúcar redutor presente é a sacarose, formada por uma ligação glicosídica entre frutose e glicose, o que imobiliza a função carbonila de cada hexose, resultando em um açúcar não redutor (Nelsoono; Cox, 2019). Um alto teor de sacarose pode indicar colheita mel imaturo, quando a sacarose não foi totalmente convertida em glicose e frutose pela enzima invertase. Além disso, a elevada concentração de sacarose pode indicar também a adulteração do mel, que pode ocorrer com a adição de açúcares comerciais ou alimentação artificial das abelhas com xarope de açúcar (Silva, 2007; Vargas, 2006).

Na composição do mel a umidade é o segundo maior componente em quantidade, podendo variar de 15% a 20% e seu percentual depende da origem floral da planta, condições climáticas e manejo durante a colheita. É considerada uma das características mais importantes, pois influencia em várias outras características do mel, como a viscosidade, peso específico, maturidade, sabor e cristalização (Silva *et al*., 2010; Pires, 2011).

A umidade refere-se ao excesso de água presente no mel devido à desidratação limitada do néctar durante o processo de transformação do mel. A umidade do mel é uma das características mais importantes por influenciar na sua viscosidade, peso específico, maturidade, cristalização e sabor. A umidade pode ser alterada após a retirada do mel da colmeia, em função das condições de armazenamento depois da extração (Silva, 2013). De acordo com a legislação brasileira o teor de umidade deve ser superior a 20% (Brasil, 2000). Pois um alto teor de umidade no mel aumenta o risco de possíveis contaminações a partir da proliferação de microorganismos.

Durante o processamento, o mel pode absorver umidade do ambiente, pois é altamente higroscópico, o que significa que este absorve água facilmente dependendo da umidade relativa do ar e da temperatura atmosférica. Isso pode comprometer sua conservação e qualidade, uma vez que em elevados níveis de umidade pode-se ocorrer a fermentação pela ação de leveduras osmofílicas que estão presentes em sua composição (Manzanares, 2002). Para Sodré (2005) a partir de 21% de umidade cria-se um ambiente favorável ao desenvolvimento de leveduras e alguns fatores como a transformação dos açúcares que favorecem a transformação do mel em

álcool, CO2 e outras substâncias que podem deixar o produto impróprio para o consumo humano**.**

3.10.2 Pureza

A análise de sólidos insolúveis é realizada para avaliar o grau de pureza do mel permitindo identificar resíduos de favos, fragmentos da própria colméia, como asas das abelhas, patas e até mesmo produtos do processamento (Schlabitz; Silva; Souza, 2010). É uma análise importante do ponto de vista sanitário para garantir segurança e qualidade aos consumidores. O teor máximo permitido pela legislação brasileira é de 0,1%, tanto para o mel floral como para o mel de melato (Brasil, 2000).

3.10.3 Deterioração

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a quantidade de íons de hidrogênio presentes na amostra de mel. Os valores de pH para méis de origem floral são geralmente inferiores a 4,0 (Carvalho *et al*., 2005). A determinação do pH é influenciada pelo solo, origem botânica e substâncias adicionadas ao néctar pela própria abelha como ácidos e enzimas (Gois *et al*., 2013). A acidez do mel dificulta o crescimento de microrganismos e realça o seu sabor (Moura, 2010). O baixo valor de pH atua como catalizador para as reações de desidratação das hexoses (frutose e glicose), que tem como resultado a formação do hidroximetilfurfural (HMF). O HMF é um indicativo de deterioração do mel, ao passar por logo tempo de armazenamento em temperatura ambiente e/ou altas temperaturas (Silva, 2016).

Os ácidos orgânicos do mel representam menos que 0,5% dos sólidos, são os responsáveis em realçar o sabor e dificultar a proliferação de microrganismos (Camargo *al et*., 2006). A Legislação Brasileira permite um valor máximo de 50 meq/kg de mel (BRASIL,2000). O *Codex* e a União Européia determina o mesmo valor máxim de 50 meq/kg de mel, porém a mesma específica que é para a determinação de acidez livre (Cac, 2001; União Européia, 2001)

O ácido glucônico constitui de 70% a 90% dos ácidos orgânicos presentes no mel. Suaformação pode ocorrer pela conversão de D-glicose tendo como catalizador a enzima D-

glicoseoxidase originaria da glândula hipofaringeana das abelhas, por ação das bactérias *Gluconobacter* presente no intestino das abelhas, ou ainda, pode estar presente na fonte que a abelha utilizou para produzir o mel como, o pólen das flores ou excreções de insetos sugadoresdas plantas (Brugnerotto, 2018).

Além do ácido glucônico outros ácidos orgânicos estão presentes em menores quantidades, como os ácidos: acético, benzóico, butírico, cítrico, fenilacético, fórmico, isovalérico, láctico, maléico, oxálico, propiônico, piroglutânico, succínico e valérico. Todos encontram-se dissolvidos em solução aquosa no mel e produzem íons de hidrogênio. Valores elevados de acidez indicam aquecimento do mel e ocorrência do processo fermentativo (Carvalho *et al*., 2005).

A diástase, também conhecida como alfa-amilase, é uma enzima crucial encontrada no mel, desempenhando um papel significativo na digestão de moléculas de amido. Sua atividade é um indicador sensível da qualidade do mel, especialmente em relação ao superaquecimento e às práticas convencionais de processamento e armazenamento. A diástase é suscetível ao calor, e sua atividade diminui quando o mel é exposto a temperaturas superiores a 60 ºC, ou que pode ocorrer durante o processamento inadequado ou armazenamento prolongado (Huang *et al*., 2019; Chou *et al*, 2020).

A análise da atividade diastásica é frequentemente realizada medindo-se a capacidade da enzima de hidrolisar o amido ao longo do tempo, refletindo assim a integridade do mel (Soares *et al*., 2017; Chou *et al*., 2020). A ausência ou redução da atividade diastásica pode indicar práticas prejudiciais, como a adição de açúcar invertido ou o armazenamento em más condições, como temperaturas elevadas e períodos superior a seis meses (Afshari *et al*., 2022)

Estudos demonstram que o armazenamento em temperaturas elevadas pode levar a uma redução significativa na atividade Diastásica. Há outro estudo observado em que a atividade diastásica diminui em até 40% após um ano de armazenamento a 25 ºC (Şahinler, 2007; Castro-Vázquez *et al*., 2008). Além disso, a Instrução Normativa n° 11 de 2000 estabelece que o mel deve ter uma atividade diastásica mínima de 8 na escala Göthe, e que o conteúdo de HMF (5-hidroximetilfurfural) não deve exceder 15 mg/kg para que o mel atenda os padrões de qualidade (Fallico *et al*., 2009; Baloš *et al*., 2023). O HMF é outro parâmetro importante que, quando elevado, indica proteção do mel, geralmente devido a condições prejudiciais de armazenamento ou aquecimento excessivo (Bhalchandra *et al*., 2022). A relação entre a atividade diastásica e os níveis de HMF é bem documentada, com a presença de altos níveis de HMF frequentemente correlacionados com a diminuição da atividade diastásica (Kamboj *et al*., 2019).

O Hidroximetilfurfural (HMF) é um composto orgânico formado naturalmente no mel, especialmente durante o armazenamento prolongado. Sua concentração é um indicador crucial da qualidade e frescor do mel. Altos níveis de HMF podem sugerir armazenamento inadequado, envelhecimento ou adulteração do mel. A formação do HMF ocorre devido à desidratação das hexoses (frutose e glicose) em ambiente de baixo pH, processo que é acelerado pelo aumento da temperatura, o que também reduz o valor nutritivo do mel ao destruir aminoácidos essenciais, ácido ascórbico e vitamina K (Silva, 2016).

O HMF é citotóxico e, portanto, está associado a efeitos nocivos à saúde dos consumidores quando presente em altas concentrações no mel. Esses efeitos incluem irritação nos olhos, trato respiratório superior, pele e membranas mucosas, com esses efeitos tendo um potencial genotóxico (Maeda *et al*., 2023; Ribeiro *et al*., 2012)

Fatores como acidez, baixo pH, água e minerais presentes no mel também influenciam a quantidade de HMF. O valor máximo permitido de HMF no mel é de 60 mg/kg (Brasil, 2000). Armazenar o mel a temperaturas entre 12 e 15 °C minimiza a formação de HMF. No entanto, para cada aumento de 10 °C na temperatura, a velocidade de formação do HMF aumenta cerca de 4,5 vezes (Moura, 2006).

A degradação dos açúcares no mel, especialmente a sacarose, e o subsequente escurecimento ocorrem principalmente devido a reações químicas complexas, como a reação de Maillard e a caramelização. A reação de Maillard, uma reação não enzimática entre açúcares redutores (como frutose e glicose) e aminoácidos, resulta na formação de melanoidinas, compostos escuros responsáveis pela cor característica do mel. Essa reação é favorecida por calor e umidade, comuns durante o armazenamento do mel (Silva, 2023; Francisquini *et al*., 2017; Santos, 2021).

O escurecimento também pode ser exacerbado pela presença de contaminantes, como metais, que catalisam reações indesejadas (Gomes *et al*., 2015). O tempo de armazenamento é crucial, pois a formação de HMF está diretamente relacionada à degradação dos açúcares em condições de calor e acidez, sendo o HMF um produto intermediário tanto da reação de Maillard quanto da desidratação de hexoses em meio ácido (Gonçalves *et al*., 2020). A reação de Maillard, além de alterar a cor do mel, pode impactar seu valor nutricional ao reduzir a biodisponibilidade de aminoácidos essenciais, influenciando também o sabor e aroma do mel devido à formação de compostos voláteis (Francisquini *et al*., 2017).

3.11 Adulterantes em mel

De acordo com o Decreto 10.468 de 18 de agosto de 2020, que regulamenta a inspeção de produtos industriais e sanitários de origem animal, a prática de alterar total ou parcialmente produtos alimentícios, seja pela adição de substâncias impróprias ou estranhas, ou pela inclusão de ingredientes para mascarar deficiências, é considerada fraude alimentar (Riispoa, 2020). No mercado de mel, as fraudes mais comuns envolvem a adição de carboidratos como açúcar comercial, solução ou xarope de sacarose, e xarope de milho (glucose).

O mel, devido ao seu alto valor de mercado e crescente demanda, está entre os dez produtos alimentares mais suscetíveis à fraude, ocupando a terceira posição, atrás apenas do leite e do azeite (García, 2018; Everstine *et al*., 2024). Além da adulteração comum com xaropes de açúcar, a rastreabilidade das suas origens botânicas e geográficas, bem como sua composição mineral, torna-se um desafio crucial para garantir a autenticidade e qualidade do produto.

A adulteração tem causado um colapso nos preços e um declínio na produtividade. O aumento de produtos fraudulentos no mercado apícola tem ameaçado a sobrevivência dos produtores de mel autêntico, gerando uma catástrofe econômica com prejuízos estimados em cerca de US$1 bilhão (Phipps, 2020). Além dos impactos econômicos, a fraude no mel também compromete a confiança do consumidor, prejudica a qualidade do produto e pode afetar negativamente a saúde pública, já que adoçantes artificiais podem conter substâncias prejudiciais.

O mel é frequentemente adulterado com adoçantes comerciais mais baratos, como xaropes de beterraba ou cana, xarope de milho, xarope de milho rico em frutose, xaropes de sacarose e xaropes invertidos (Chin e Sowndhararajan, 2020). Esses xaropes são atrativos para a adulteração devido ao seu alto grau de doçura e outras características semelhantes ao mel, como cristalização tardia, proporção adequada de frutose e glicose, baixo pH, alta pressão osmótica, além de serem líquidos e baratos (Guler *et al*., 2017). A adulteração mais comum ocorre quando as colônias de abelhas são superalimentadas com xarope industrial durante o principal período de fluxo de néctar.

Além da adulteração comum com xaropes de açúcar, a rastreabilidade das suas origens botânicas e geográficas, bem como sua composição mineral, torna-se um desafio crucial para garantir a autenticidade e qualidade do produto. Para combater essa prática, diversas técnicas de detecção de adulteração têm sido desenvolvidas, incluindo métodos físico-químicos para análise de alimentos descritos por Adolfo Lutz (IAL, 2008). Essas técnicas são fundamentais para identificar a qualidade e autenticidade do mel, diferenciando, por exemplo, açúcares naturais daqueles de fontes industriais.

Além disso, testes laboratoriais para verificar a composição química e o perfil de açúcares do mel são cruciais para identificar fraudes. Além disso, técnicas avançadas como ICP-MS (Vásic *et al*., 2020; Ciric *et al*., 2020 *et al*., 2020), ICP-OES (Junior *et al*., 2020; Liu *et al*., 2021; Agharmilouet *et al*., 2015), UHPLC-MS/MS (Valverde *et al*., 2018), EAA (Haider *et al*., 2024) desempenham um papel crucial na identificação e quantificação de elementos e compostos específicos no mel. Essas técnicas permitem a análise detalhada da composição mineral e a detecção de adulterantes em níveis muito baixos, garantindo uma análise precisa e confiável da autenticidade do produto.

3.11.1 Reação de Lugol

O teste qualitativo de Lugol é amplamente utilizado como um importante método de diagnóstico para avaliar a qualidade do mel, sendo também um critério adotado por regulamentações oficiais. Esse teste é considerado positivo quando a solução apresenta uma coloração preta ou azulada, indicando a presença de açúcares comerciais no mel. A intensidade da cor varia de acordo com a concentração e a qualidade das dextrinas presentes nesses açúcares. Por outro lado, o teste é classificado como negativo quando não há alteração na coloração, o que indica a ausência de adulteração (IAL, 2008).

3.11.2 Prova de Lund

O teste de precipitação de albuminóides, conhecido como Prova de Lund, utiliza ácido tânico para verificar a pureza do mel, identificando adulterações como a adição de água ou substâncias artificiais. Precipitados inferiores a 0,6 mL indicam falsificação, enquanto volumes entre 0,6 mL e 3,0 mL são considerados normais para mel puro. Valores fora desse intervalo sugerem a adição de proteínas ou o uso de técnicas inadequadas de extração, como

a prensagem dos favos, e até mesmo a superalimentação de abelhas com xaropes de sacarose comprometendo a qualidade do mel.

A legislação brasileira estabelece esse intervalo de precipitado como referência para garantir a autenticidade do produto. Alterações nos resultados apontam para adulterações, indicando interferências no processamento ou adição de substâncias, o que compromete a pureza do mel e sua conformidade com os padrões regulatórios (Brasil, 2000)

3.11.3 Teste de Fiehe

O teste de Fiehe antecede o teste de HMF. Mesmo sendo um teste básico qualitativo, ele evidencia presença de açúcar invertido e pode igualmente revelar o superaquecimento do mel. O critério adotado é positivo quando a amostra apresentar coloração vermelha-cereja e negativo quando a amostra não apresentar nenhuma mudança de coloração (IAL, 2008). Reação de Fiehe é uma prova qualitativa que indica a presença ou ausência de açúcar comercial no mel, o que é proibido pela legislação. Também pode indicar se o mel passou por superaquecimento extensivo. Nos casos em que houve o superaquecimento ocorrerá uma reação colorimétrica em que o resultado positivo apresentará coloração vermelha. A reação se dá acrescentando uma solução clorídrica de resorcina ao mel para indicar a presença de xaropes de açúcares ou o superaquecimento do mesmo. A verificação da coloração vermelha indica a presença de HMF acima do permitido pela legislação. A coloração vermelha cereja indica um mel de baixa qualidade e a intensidade da cor vermelho relaciona-se com a quantidade de HMF prese

4. METODOLOGIA

4.1 Obtenção de amostras

Foram coletadas 34 amostras de mel provenientes de diferentes fontes comerciais e de produtores locais, tanto formais quanto informais, incluindo algumas inspecionadas pelo Ministério da Agricultura. As coletas ocorreram entre março de 2023 e dezembro de 2024 na região da Costa do Descobrimento, na Bahia, abrangendo os municípios de Eunápolis, Porto Seguro, Arraial d'Ajuda, Trancoso e Guaratinga.

As amostras foram codificadas conforme a indicação nos rótulos, sendo identificadas como méis monoflorais e poliflorais conforme mostrado na **Tabela 03**. Além disso, algumas amostras sem rótulo, oriundas de produtores informas, foram declaradas como poliflorais. Após a identificação da região de produção e da respectiva florada, todas as amostras foram armazenadas em local seco, protegidas de luminosidade e de variações de temperatura seguindos os padrões de qualidade estabelecidos.

As análises físico-químicas foram realizadas nos laboratórios de Química Ambiental da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB, Campus Porto Seguro) e do Instituto Federal da Bahia (IFBA, Campus Porto Seguro), seguindo os Métodos Físico-Químicos para Análises de Alimentos - CAP. VII - Açúcares e Produtos Correlatos do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). As análises de determinação multielementar de minerais foram realizadas no Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIENAM, UFBA) através da espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES).

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, seguindo os métodos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000. Foram avaliados os seguintes parâmetros: umidade, açúcares redutores, sacarose aparente, sólidos insolúveis em água, acidez, atividade diastásica, hidroximetilfurfural (HMF), além da ocorrência de Lugol, prova de Lund e teste de Fiehe.

Tabela 03. Codificação das amostras de mel.

CÓDIGO	FLORADA	REGIÃO DE PRODUÇÃO
ASF	Silvestre	Eunápolis/BA
EAL	Eucalipto	Eunápolis/BA
EAV	Eucalipto	Eunápolis/BA
EBE	Eucalipto	Guaratinga/BA

LMERC	Laranjeira	Arraial D'ajuda/BA
SMERC	Silvestre	Arraial D'ajuda/BA
SAB	Silvestre	Eunápolis/BA
SAJ	Silvestre	Eunápolis/BA
SAL	Silvestre	Eunápolis/BA
SAP	Silvestre	Itamaraju/BA
SAV	Silvestre	Eunápolis/BA
SBE	Silvestre	Guaratinga/BA
SBM	Silvestre	Eunápolis/Bahia
SF	Silvestre	Apiários Ferrari
SFB	Silvestre	Porto Seguro/BA
SG	Silvestre	Guaratinga/BA
SPM	Silvestre	Porto Seguro/BA
VAP 100	Velame 100%	Eunápolis/BA
VAP 85	Velame 85%	Eunápolis/BA
VF	Velame	Eunápolis/BA
SAPM	Silvestre	Eunápolis/BA
SCD	Silvestre	Eunápolis/BA
SMC	Silvestre	Caraíva/BA
PBBE	Pau-Pombo	Guaratinga/BA
SAJ 1	Silvestre	Eunápolis/BA
SAJ 2	Silvestre	Eunápolis/BA
SAV 1	Silvestre	Eunápolis/BA
SAV 2	Silvestre	Eunápolis/BA
SPM 1	Silvestre	Porto Seguro/BA
SPM 2	Silvestre	Porto Seguro/BA
EF	Embaúba	Eunápolis/BA
VF	Velame	Eunápolis/BA
SF	Silvestre	Eunápolis/BA

4.2 Preparo das amostras

Para as amostras sem cristalização, realizamos a homogeneização do produto antes das pesagens. As amostras cristalizadas sofreram o processo de descristalização por meio do banho-maria a uma temperatura de (40±1°C) por 20 minutos incialmente ou até todos os cristais de açúcar se dissolveram no meio líquido do mel, e agitando-se ocasionalmente. Após esse

procedimento, a amostra foi resfriada naturalmente à temperatura ambiente antes de realizar as pesagens para as analises físico-quimicas (IAL, 2008).

4.3 Umidade

A umidade refere-se ao excesso de água presente na amostra devido à desidratação limitada do néctar durante o processo de transformação do mel. O método consistiu em pesar 10g da amostra homogeneizada em uma balança analítica previamente calibrada. Em seguida, o produto foi submetido à secagem em estufa (Lucadema, LUCA-80/100) a uma temperatura de 105±1°C por um período de duas horas. Após esse tempo, o produto foi retirado da estufa e deixado à temperatura ambiente para resfriamento completo. O método foi repetido até a massa não apresentar mais variação significativa utilizando a seguinte fórmula:

$$\frac{Nx100}{P} = umidade\ por\ cento\ m/m$$

Onde *N* a perda de massa em g, e *P* se refere massa da amostra em g

4.4 Acidez

A acidez (total, livre e lactônica) do mel foi determinada por volumetria de neutralização, utilizando titulação com hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl), controlada por um pHmetro (Mettler Toledo, FIVE EASY F20) até atingir os pontos de equivalência. Inicialmente, 10 g das amostras foram dissolvidas em 75 mL de água destilada, e o pH inicial foi medido. A acidez livre foi determinada por titulação com NaOH 0,05 mol L^{-1} na presença de fenolftaleína líquida a 1% (m V^{-1}) como indicador, até o pH atingir 8,5. Em seguida, foi adicionado um excesso de 10 mL de NaOH, e a acidez lactônica foi determinada por titulação com HCl 0,05 mol L^{-1} até o pH atingir 8,3. A acidez total foi calculada pela soma da acidez livre e lactônica. Esse parâmetro é fundamental, pois valores elevados podem indicar fermentação ou adulterações com xaropes de açúcar e amido. Para a quantificação dos níveis de acidez foram utilizadas as seguintes fórmulas abaixo.

Para a determinação de acidez livre:

$$\frac{(V - Vb)\ x\ 50\ x\ F}{P} = acidez\ livre\ \ em\ mEq/kg$$

Onde,

V = n.º de mL da solução de NaOH 0,05 N gasto na titulação

V_b = n.º de mL de solução de NaOH 0,05 N gasto na titulação para o branco

F = fator da solução de NaOH 0,05 N

P =massa da amostra em g

Para determinação de acidez lactônica:

$$\frac{(10 - Va)\ x\ 50\ x\ F'}{P} = acidez\ lactônica\ em\ mEq/kg$$

Onde,

V_a= nº de mL de solução de HCl 0,05 N gasto na titulação

F' = fator da solução de HCl 0,05 N

P= massa da amostra em g

4.5 Determinação de Hidroximetilfurfural

A determinação do teor de hidroximetilfurfural (HMF) foi realizada por espectrofotometria UV/VIS nos comprimentos de onda 284 e 336 nm. Para a análise, foram preparadas as soluções de Carrez I (ferrocianeto de potássio), Carrez II (acetato de zinco) e bissulfito de sódio 0,2% m V^{-1}. Aproximadamente 5 g de mel foram divididos em água e transferidos para um balão volumétrico de 50 mL, onde foram incluídos como soluções de Carrez para clarificação. Após a filtração, descartando-se os primeiros 10 mL do filtrado, retirando-se duas alíquotas de 5 mL: uma diluída em água (amostra) e outra em bissulfito de sódio (referência). Ambas foram submetidas a banho ultrassônico por 3 minutos antes da leitura no espectrofotômetro. Se a absorção excedesse 0,6, as soluções eram diluídas para correção, pois variações poderiam

indicar adulteração ou armazenamento inadequado. Para a determinação do teor de HMF, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\frac{(A284 - A336)\ x\ 149{,}7\ x\ 5}{P} = HMF\ mg/kg$$

Onde,

A284 se refere a leitura de absorbância a 284 nm

A336 se refere a leitura de absorbância a 336 nm

P se refere a massa da amostra em g

5 se refere a massa nominal da amostra

4.6 Determinação de açúcares redutores

O teor de açúcares redutores, expresso como açúcar invertido (glicose + frutose), foi determinado pelo método modificado de Lane & Eynon. A análise quantitativa foi realizada por titulação utilizando soluções de Fehling A (sulfato de cobre) e Fehling B (solução alcalina de tartarato de sódio e potássio com hidróxido de sódio). A ocorrência foi realizada sob aquecimento, com a mistura levada à ebulição e titulada sob temperatura controlada. A transição do ponto de viragem foi identificada pela descoloração parcial da solução azul, momento em que foi adicionada solução de azul de metileno a 1%, permitindo a titulação até a formação de um precipitado vermelho.

Para a análise, aproximadamente 2 g de mel foram divididos em água e transferidos para um balão volumétrico de 200 mL, completando-se o volume. A partir dessa solução, 50 mL foram diluídos para 100 mL. Paralelamente, 5 mL de cada solução de Fehling foram acrescentados a um balão de fundo chato de 250 mL, juntamente com 7 mL de água. A solução diluída de mel foi adicionada gradualmente ao meio reacional, desligando em ebulição por 2 minutos. Em seguida, 1 mL de solução de azul de metileno foi incorporado, e a titulação foi conduzida até a descoloração do indicador. O volume total necessário para a titulação foi de 35 mL. O volume consumido da solução de mel (V/mL) foi registrado, e a titulação foi repetida para ajuste, garantindo concordância entre as leituras dentro de 0,1 mL. A quantificação de açúcares redutores foi então calculada com base na fórmula abaixo:

$$\frac{2\ x\ 1000}{P\ x\ V} = açúcares\ redutores\ (em\ açúcar\ invertido)\ g/100g$$

Onde,

P refere-se a massa da amostra de mel em g

V refere-se ao volume da solução diluída da amostra gasto na titulação

4.7 Sacarose Aparente

Para sacarose aparente foram determinados os açúcares após inversão por hidrólise ácida, pelo método modificado Lane & Eynom. Pipetou-se 50 mL da solução de mel obtida na determinação de açúcares redutores 176/IV para um balão volumétrico de 100 mL. Adicionei-se 25 mL de água. Aqueça-se a 65 ºC em banho-maria. O frasco foi removido do banho e adicionaram-se 10 mL de solução de ácido clorídrico. A solução foi deixada para resfriar naturalmente até a temperatura ambiente. Neutralizou-se com solução de hidróxido de sódio, usando papel indicador de pH. O volume foi completado com água. Proceda-se como em açúcares redutores.

$$[\frac{(2\,x\,100)}{P\ x\ V1} - C]\ x\ 0{,}95 - sacarose\ aparente\ g/100g$$

Onde,

P se refere a massa da amostra

V1 se refere ao volume diluído da amostra gasto na titulação em mL

C se refere a quantidade em g de açúcares invertido por cento antes da hidrólise ácida

4.8 Sólidos Insolúveis

Pesou-se cerca de 20 g da amostra homogeneizada de mel. A amostra foi dissolvida em quantidade adequada de água a 80 ºC e bem misturada. Filtrou-se sob vácuo através de um cadinho de vidro previamente tarado a (135 ± 2) ºC, lavando-o com água a 80 ºC. Parte do filtrado foi colhida em um tubo de ensaio, onde foram adicionadas algumas gotas de solução de floroglucina e de ácido sulfúrico (caso houvesse formação de névoa esbranquiçada, indicando

a presença de açúcar). A lavagem com água a 80 ºC foi continuada até que o filtrado estivesse livre de açúcares. O cadinho foi seco a 135 ºC por 1 hora, resfriado e pesado. Em seguida, foi retornado à estufa a 135 ºC em intervalos de 30 minutos até que não houvesse diferenças significativas.

$$\frac{100\ x\ N}{P} = sólidos\ insolúveis\ em\ água\ g/100g$$

Onde,

N refere-se a massa seca de sólidos insolúveis em g

P refere-se a massa da amostra de mel em g

4.9 Atividade Diastásica

A atividade diastásica foi determinada a partir um espectrofotômetro UV-Vis (YOKE - UV1200PRO), em um comprimento de onda de 660 nm. Para o procedimento, foram preparadas soluções de amido, iodo, tampão de acetato (pH 5,3) e cloreto de sódio 0,5 mol L^{-1}. A solução de amido foi padronizada com solução de iodo 0,00035 mol L^{-1}. Durante essa etapa, 10 g de mel foram dissolvidos em água e tamponados com solução de acetato antes da adição de cloreto de sódio. Após o preparo, a solução foi misturada com amido e colocada em banho de água a 40 °C. Em seguida, as alíquotas foram retiradas a cada 5 minutos e misturadas com solução de iodo para mensurar a absorbância.e 5 minutos, pipete alíquotas de 1 mL desta solução e adicione rapidamente 10 mL de solução de iodo diluída 0,00035 M, em uma proveta de 50 mL. Misture e dilua com água, se necessário, conforme descrito na padronização do amido. Determine a absorbância a 660 nm. Continue tomando alíquotas de 1 mL em intervalos de 5 minutos, até obter um valor de absorbância menor que 0,235. Abaixo se encontra a fórmula utilizada para determinação deste parâmetro.

$$\frac{300}{Tx} = atividade\ diastásica$$

Onde Tx se refere-se ao tempo de reação

4.10 Reação de Lugol

Para o teste de Lugol, que utiliza a reação de Lugol que reage com as dextrinas e o amido presentes no mel. Pesa-se 10g da amostra. Adiciona-se 20 mL de água e agita-se. Deixar no banho-maria fervente por 1h a 60°C e resfriar a temperatura ambiente. Após resfriar adiciona-se 5 a 10 gotas da solução de Lugol (IAL,1985). Na presença de glicose comercial, a solução fica colorida de vermelho violeta a azul. A intensidade da cor depende da qualidade e da quantidade das dextrinas presentes na glicose comercial.

4.11 Reação de Fiehe

Pesou-se 5 g de amostra em um copo de 50 mL. Em seguida, adicionaram-se 5 mL de éter e agitaram-se vigorosamente. A camada etérea foi fornecida para um tubo de ensaio, onde foram acrescentados 0,5 mL de solução clorídrica de resorcina, deixando-se em repouso por 10 minutos. Na presença de glicose comercial ou de mel superaquecido, observa-se o aparecimento de uma coloração vermelha intensa.

4.12 Teste de Lund

Foram pesados cerca de 2g de cada amostra e diluídos em 20 mL de água destilada. Esta solução foi transferida para uma proveta de 100 mL, onde adicionou-se 5 mL de solução de ácido tânico 0,5% e água destilada até completar o volume de 40 mL. Em seguida, a solução foi homogeneizada e deixada em repouso por 24 horas. Decorrido esse período, foi efetuado a leitura do volume de precipitado formado. Para o de mel com adulteração forma-se um precipitado de substâncias albuminoides menor que 0,6 mL.

4.13 Metodologia para determinação multielementar por ICP - OES

A análise multielementar nas amostras de mel foram utilizando um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (ICP-OES iCAP PRO X, Thermo Fisher Scientific - Massachusetts, EUA) com visualização axial e um detector de estado sólido foi utilizado para a determinação simultânea dos analitos de interesse (Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Se, Sr e Zn). As linhas espectrais foram selecionadas de acordo com a ausência de

interferência espectral e sensibilidade adequada para a determinação de elementos em altas e baixas concentrações, estudando as linhas de emissão dos elementos a serem investigados. Foram selecionadas as linhas que exibiram baixa interferência, alto sinal analítico e razões de fundo. Os comprimentos de onda analíticos (nm) utilizados para a análise multielementar foram: Ca (396.366); Cr (283.563); Fe (259.940); K (766.490); Mg (279.553); Mn (257.610); Na (588.995); Zn (202.548).

As amostras de mel foram digeridas em triplicata utilizando um sistema de bloco digestor com tubo de digestão e dedo frio, este sistema de refluxo formado pelo dedo frio e tudo de digestão, permite a preparação de amostras diminuindo as perdas de elementos por volatilidade durante a digestão, o risco de explosão é mínimo, podendo ser incluidas matrizes orgânicas e inorgânicas para esta metodologia, além disso podem ser usados volumes menores de reagentes (Ferreira *et al*., 2013). Durante o preparo das amostras, aproximadamente 2g de mel foram pesadas diretamente no tubo de digestão. Foram adicionados 4mL de ácido nítrico a 65% e 2mL de peróxido de hidrogênio 30% as amostras e permaneceram em repouso, para pré digestão, por 2h e em seguidas foram aquecidas a 110°C durante 2h. Ao final do processo de digestão as amostras, os tubos foram removidos e as soluções produzidas foram diluídas quantitativamente para um volume de 15 mL com água ultrapura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos testes qualitativos e quantitativos estão descritos na Tabela 05 e indicam a genuinidade ou não das amostras. A reação de Lugol, Fiehe e o teste de Lund são consideradas análises qualitativas e complementares que podem indicar a adulteração ou má conservação do mel.

Tabela 04. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de méis no Sul da Bahia

AMOSTRAS	Umidade (%)	Sólidos Insolúveis (g/100g)	Acidez (mEq/kg)	Atividade Diastásica	HMF (mg/kg)	AR (g/100g)	SA (g/100g)	Reação Lugol	Teste Fiehe	Prova de Lund
ASF	17,63±0,09	0,069±0,002	48,5±2,07	15,34±0,09	34,9±0,04	66.53±0,01	7,18±0,04	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
EAL	11,69±0,23	0,056±0,021	43,5±1,83	20,61±1,93	26,49±0,01	60,75±0,19	2,62±1,01	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
EAV	17,43±0,38	0,053±0,003	48,7±2,13	14,41±1,09	17,36±0,12	63,65±0,07	12,31±0,02	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
L .MERC	14,82±0,64	0,064±0,001	63,1±1,02	3,10±1,30	9,6±2,04	60,81±0,03	2,1±0,04	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SAP	16,05±0,03	0,052±0,014	72,7±2,96	13,56±2,46	32,39±0,01	67,83±1,39	17,74±1,38	Positivo	Positivo	Marrom-preto
SAB	18,76±0,25	0,051±0,001	55±2,74	13,68±2,05	32,3±0,08	69,89±1,06	6,89±1,64	Positivo	Positivo	Marrom-preto
SAJ	16,44±0,37	0,052±0,017	53,1,01	28,76±2,98	19,34±0,12	65,14±0,08	3,72±0,28	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
SAL	15,11±0,41	0,051±0,006	64±2,37	10,64±3,00	39,77±0,02	56,31±0,6	2,51±0,72	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SPM	14,82±0,03	0,051±0,082	59,7±3,05	10,19±1,20	20,5±1,06	64,59±0,23	2,00±0,76	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
SAV	16,73±0,72	0,054±0,002	79,5±1,96	23,76±2,49	31,88±1,01	80,07±1,05	11,47±0,93	Positivo	Positivo	Marrom-preto
SBM	15,09±0,09	0,050±0,106	41,3±2,38	19,93±1,27	25,44±0,02	63,19±0,07	6,9±0,02	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado ++
SFB	19,84±0,16	0,059±0,081	43,5±3.06	6,64±0,07	23,24±0,93	66,56±1,08	7,54±1,05	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado ++
SG	17,64±0,46	0,058±0,007	43,55±1,85	3,07±1,05	7,8±2,04	65,98±0,01	8,41±0,67	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado

SF	13,73±0,68	0,054±1,958	58±2,10	18,83±2,65	13,74±0,02	66,42±0,76	7,13±0,82	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
S. MERC	15,99±0,06	0,057±1,290	59,1±2,63	5,69±1,22	11,8±0,95	67,78±0,13	14,18±0,10	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
SBE	15,69±1,02	0,056±1,533	53±2,09	7,88±2,36	11,28±1,68	62,2±1,74	3,84±0,91	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
VAP (100)	16,54±0,07	0,053±0,875	49±3,06	16,63±1,92	34,43±0,10	66,98±0,08	9,82±0,03	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
VAP (85)	14,83±0,81	0,051±1,83	50,3±1,17	13,65±1,43	27,39±0,71	62,2±0,02	1,85±0,22	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
VF	15,68±0,66	0,055±0,951	48,2±3,81	3,59±1,58	9,73±0,06	60,85±0,5	1,99±1,02	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
EBE	17,69±1,01	0,054±1,772	61±1,04	10,08±2,02	32,48±1,65	63,96±1,06	6,91±0,17	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
SAPM	16,31±0,02	0,059±0,0981	50,6±2,00	13,94±1,08	34,7±0,91	63,93±1,12	1,35±0,81	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SCD	15,33±0,17	0,055±0,911	54,3±1,02	12,62±3,68	25,65±1,11	67,98±1,66	3,64±0,03	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado++
SMC	16,01±0,15	0,0512±1,022	51±1,27	16,11±2,40	19,7±0,66	62,64±0,03	3,1±0,82	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
PBBE	18,19±0,75	0,0539±1,040	60±2,95	15,174±3,00	21,9±0,17	66,26±1,18	1,75±0,02	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SAJ1	18,84±0,58	0,0688±0,911	48,4±2,91	11,86±1,29	19,86±0,03	63,27±0,04	5,64±0,60	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SAJ 2	17,66±0,08	0,0599±1,641	48,3±1,97	16,76±0,06	21,2±1,72	66,71±1,1	8,61±0,07	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SAV 1	15,97±0,75	0,0582±0,976	50,6±1,60	17,00±1,42	23,56±2,05	63,16±1,7	5,16±0,02	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SAV 2	16,65±0,17	0,078±0,002	47,7±1,94	6,85±0,06	21,28±1,06	65,42±0,03	4,33±0,21	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado

SPBM 1	15,60±1,08	0,043±1,865	48,3±1,06	9,18±1,01	17,8±0,02	60,77±0,02	6,01±0,11	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
SPBM 2	17,81±0,06	0,068±1,436	44,8±2,36	10,73±0,05	18,1±0,59	63,18±1,03	3,91±0,47	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
EAF	16,55±0,59	0,037±0,162	48,9±1,11	14,06±0,06	22,37±0,04	58,22±0,02	3,06±0,23	Negativo	Negativo	Marrom-avermelhado
EAF	15,12±0,47	0,054±2,001	50,2±1,25	15,87±1,08	21,81±0,62	61,26±0,92	2,97±0,03	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
SAF	17,63±0,58	0,057±1,860	45,4±1,90	11,26±1,14	17,48±0,02	66,7±0,093	3,46±0,10	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado
VF	14,25±0,01	0,045±2,005	47,8±2,30	13,17±0,93	19,53±1,01	65,9±0,02	2,15±0,18	Negativo	Negativo	Marrom-alaranjado

Com base nos parâmetros físico-químicos aplicados, 31 amostras estavam em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira vigente (Brasil, 2000), enquanto 3 amostras não cumpriam o estabelecido, indicando possível adulteração adulteração.

Todas as 34 amostras analisadas neste presente trabalho apresentaram teor de umidade dentro do limite máximo previsto pela legislação brasileira (<20,0%) (BRASIL, 2000), com valores variando entre 13,69% e 19,84% (g/100g). Esses resultados indicam um grau de maturidade adequado do mel no momento da colheita. A umidade do mel é um parâmetro crucial, pois influencia diretamente sua estabilidade ao longo do armazenamento. Teores elevados podem aumentar a suscetibilidade à fermentação, comprometendo a qualidade sensorial e comercial do produto (A. Souza *et al*., 2024). Ao comparar com estudos anteriores, Romani *et al*. (2024) registrou umidade entre 13,65% e 17,76% no mel produzido no Vale do Rio dos Bois, em Goiás. Já Silva *et al.* (2024) observaram valores entre 17,49% e 21,53% em amostras do Sul do Brasil, enquanto Pereira *et al*. (2020) informando teores entre 14,3% e 18,4% no mel de Minas Gerais. Essas variações podem ser atribuídas tanto ao manejo apícola quanto às condições climáticas regionais.

O teor de sólidos insolúveis no mel reflete a presença de partículas como cera, pólen e fragmentos de abelhas, sendo um parâmetro essencial para avaliar sua pureza e qualidade sanitária (Oliveira *et al.*, 2019). No presente estudo, as 34 amostras testadas apresentaram teores entre 0,048% e 0,069% (Tabela 05), atendendo ao limite máximo de 0,1%. Apesar disso, as amostras VF, EF, SPM e SF apresentaram valores superiores. Estudos anteriores mostram ampla variação nesse parâmetro, com registros de 0,02% a 0,14% (Romani et al., 2024), 0,0093% a 0,099% (Ferreira, 2022), 0,02% a 0,23% (Ribeiro & Starikoff, 2019) e 0,04% a 0,06% (Ito *et al*., 2018). Essas diferenças podem estar relacionadas ao processamento do mel e ao grau de filtragem, influenciando na remoção de partículas sólidas.

A acidez do mel pode indicar processos fermentativos decorrentes de armazenamento inadequado ou manipulação de açúcares. No presente estudo, os valores observados variaram entre 41,3 mEq/kg e 79,6 mEq/kg. Dentre as 34 amostras analisadas, 14 apresentaram teores acima do limite (50 mEq/kg) previstos pela legislação brasileira (BRASIL, 2000). Relacionado com estudos anteriores, Romani *et al*. (2024) analisou 28 amostras, das quais apenas uma ultrapassou o limite, com um valor de 56,04 mEq/kg. Já Silva *et al*. (2024) avaliaram oito

amostras que apresentaram valores entre 29,42 mEq/kg e 43,72 mEq/kg, todos na faixa padrão regulamentada. Nenhum estudo de Oliveira *et al*. (2020), das 21 amostras analisadas, 7 ultrapassaram o limite permitido, com valores entre 23,25 mEq/kg a 86,39 mEq/kg. Com isso, podemos relacionar conteúdos excedidos com a presença dos ácidos orgânicos presentes no néctar coletado pelas abelhas, destacando-se o ácido cítrico e o ácido glucônico, onde este último é produzido pela ação da enzima glicose-oxidase sobre a quebra da glicose (RITCHER *et al*., 2011). A ação dessa enzima continua em atividade no mel após o processamento e se mantém durante o armazenamento dando estabilidade de pH, podendo sofrer alteração por longos períodos de armazenamento e sob efeito de temperaturas elevados.

Na análise de hidroximetilfurfural (HMF) das 34 amostras de mel foram encontrados valores entre 7,80 e 39,77 mg/kg, todos dentro do limite máximo de 60 mg/kg estabelecido pela legislação. Ferreira (2022) encontrou uma variação mais ampla, com valores entre 2,99 e 657,00 mg/kg. O HMF é um subproduto da manipulação dos açúcares presentes no mel, formado naturalmente durante o armazenamento (FAO, 2022; Florentino *et al*., 2023). Valores elevados de HMF podem ser indicativos de oscilações de temperatura, armazenamento inadequado sob altas temperaturas, (exposição solar) ou aquecimento excessivo do mel. A variação dos valores de HMF nas amostras comprovadas também pode estar relacionada ao uso de fumaça durante a colheita, ao tempo de armazenamento, e às outras propriedades físico-químicas do mel, como o teor de umidade e acidez.

Neste estudo, os valores de atividade diastásica em 34 amostras de mel variaram de 3,07 a 28,76 na escala Göthe, com sete amostras abaixo do mínimo exigido pela legislação (8 unidades Göthe), evitando possível exposição excessiva ao calor ou armazenamento prolongado. As amostras LMERC e VF incluíram atividade diastásica próxima de 3 unidades Göthe, mas sem ultrapassar o limite de HMF de 15 mg/kg, mantendo-se dentro dos parâmetros regulamentares. Esses resultados indicam que, apesar da atividade diastásica um pouco mais baixa, o mel dessas amostras ainda atende aos requisitos de qualidade estabelecidos pela legislação. Nos resultados da literatura, Romani *et al*. (2024) relatou valores entre 8,20 e 22,54, todos dentro dos limites regulamentares, enquanto Júnior *et al*. (2022) observaram que duas de 48 amostras estavam fora dos padrões, com ausência de atividade enzimática. Lima et al. (2021) também encontrou resultados abaixo dos limites, com valores entre 1,5 e 5,5, contendo armazenamento inadequado. A legislação brasileira exige pelo menos 8 unidades Göthe de atividade diastásica, exceto para mel de fontes com baixa atividade enzimática natural, como

os méis cítricos, que devem apresentar pelo menos 3 unidades Göthe, desde que o HMF não ultrapasse 15 mg/kg.

A análise dos açúcares redutores revelou valores entre 56,31% e 80,07%, sendo que 18 das 34 amostras avaliadas continham teores abaixo do mínimo exigido pela legislação (65%) (BRASIL, 2000). Teores reduzidos desse parâmetro podem indicar colheita precoce ou processamento inadequado. Na literatura, Lima *et al*. (2021) analisaram cinco amostras de mel e encontraram valores entre 70,10% e 74,15%, todos superiores ao limite regulamentar. Filgueira *et al*. (2021) informando teores entre 70,95% e 73,50%, também em conformidade com a legislação. Por outro lado, Freitas *et al*. (2022) registraram variações mais amplas, de 58,83% a 88,89%. Já Marsaro Júnior *et al*. (2022) analisaram 29 amostras, com valores entre 67,31% e 81,0%, todos dentro dos padrões estabelecidos.

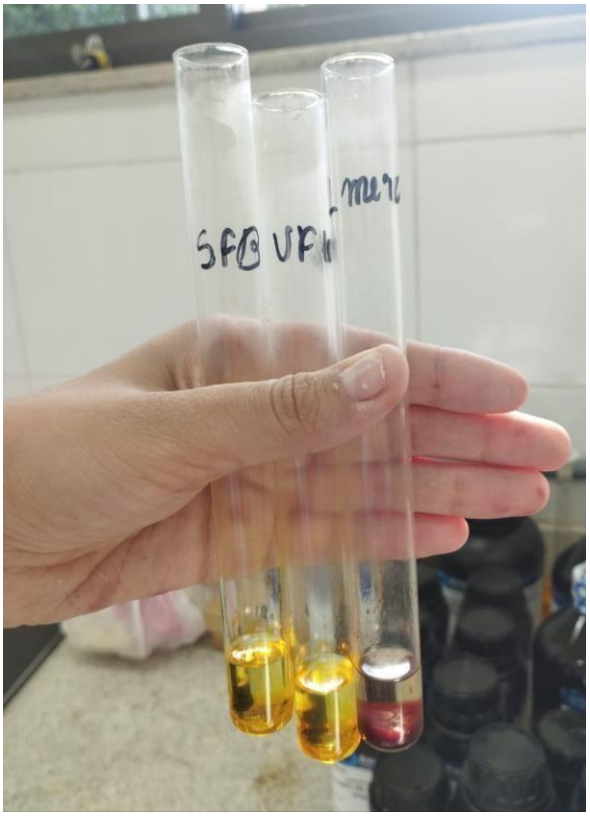
A análise da sacarose é importante para avaliar a qualidade do mel, especialmente em relação à sua maturidade e possíveis adulterações, como a adição de açúcar comercial. A legislação brasileira estabelece um limite máximo de 6% de sacarose aparente para méis florais (BRASIL, 2000). No presente estudo, os teores de sacarose variaram entre 1,35 a 17,74 g/100g, com 18 amostras excedendo o limite permitido, proporcionando colheita precoce ou possível adição de xarope de açúcar, o que pode indicar fraude (Florentino *et al*., 2023). Já Lima *et al*. (2021) e Marsaro Júnior *et al*. (2021) observaram valores dentro dos limites estabelecidos, com teores variando de 1,85 a 4,40 g/100g e de 0,45 a 3,33 g/100g, respectivamente. Em contrapartida, Romani *et al*. (2024) identificaram uma amostra com 8,17 g/100g, revelando colheita precoce, e Ferreira (2022) encontraram valores entre 2,2 e 21,3 g/100g. Pereira *et al*. (2020) registraram variações entre 3,0% e 5,6%, dentro do limite regulamentar. A variação nos teores de sacarose pode ser atribuída à origem botânica do néctar e ao momento da colheita, já que uma colheita precoce pode resultar em maior teor de sacarose no mel, devido ao processo incompleto de transformação de sacarose em frutose e glicose (Schiassi *et al*., 2021; Wang *et al*., 2015; Waworuntu, 2024).

Foram aplicados três testes qualitativos com o objetivo de identificar possíveis práticas de fraude ou adulteração nas amostras de mel analisadas. Um deles foi a Reação de Lund, empregada para detectar a presença de albuminoides — compostos nitrogenados naturalmente presentes no mel. A ausência desses compostos pode indicar a adição de xaropes, açúcares ou outras substâncias de origem não apícola, configurando adulteração ou falsificação do

produto; a Reação de Fiehe, que identifica substâncias resultantes do superaquecimento ou adição de xaropes de açúcares; e a Reação de Lugol, utilizada para detectar amido e dextrinas.

Das 34 amostras avaliadas, três (LMERC, SMERC e SAP) testaram positivo para adulteração, além de apresentarem teores de sacarose acima do limite permitido, reforçando a suspeita de fraude. A Reação de Fiehe é amplamente utilizada para identificar adulterações no mel, especialmente pela adição de glicose comercial ou exposição excessiva ao calor. A presença de coloração avermelhada na amostra indica altos níveis de hidroximetilfurfural (HMF), podendo ultrapassar 200 mg/kg (Ferreira, 2022). Na Figura 06, observa-se que uma das amostras apresentou essa coloração, evidenciando adulteração por xarope comercial.

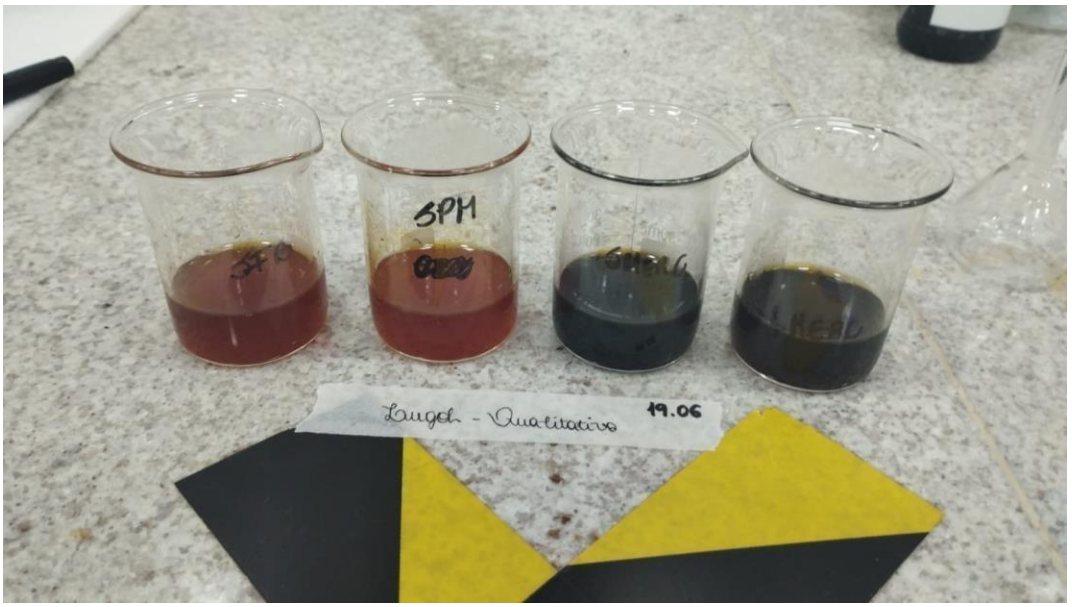
Figura 06 – Resultado do teste de Fiehe em amostras de mel



Estudos anteriores, como os de Prado *et al*. (2022), também apontaram adulteração em 50% das amostras de mel comercializadas em feiras livres no Distrito Federal, confirmando a relevância desses testes na identificação de fraudes.

Na análise pelo teste de Lugol, verificou a adulteração das amostras de mel em função da presença de amido, o qual é utilizado como espessante para aumentar a viscosidade do produto. A identificação da fraude é observada quando o mel adulterado em contato com a solução de Lugol apresenta uma coloração intensa entre o azul e o preto (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Segundo Loureiro *et al*., (2019) a reação de coloração intensa que comprova a falsificação do produto é resultante da formação de um complexo através da interação do amido com iodo. Das 34 amostras analisadas, 3 amostras se revelaram positivas para Lugol, ou seja, consideradas adulteradas conforme apresentado na Figura 07. Batistela *et al.*, (2023), observaram resultados negativos em amostras de mel produzidas no Estado do Mato Grosso do Sul, excluindo a possibilidade de adulteração para o teste de Lugol. No entanto, Silva *et al*., (2023); Matos e Costa, (2023); Longato e Rached, (2022); Fernandes *et al*., (2022), obtiveram resultados positivos para esta análise em amostras de mel comercializados em feiras livres na cidade de Manaus indicando que as amostras possivelmente foram adulteradas a partir da adição de xarope de açúcar.

Figura 07 – Resultados do teste de Lugol em amostras de méis do Sul da Bahia



O teste de Lund indica a pureza do mel através da presença de substâncias albuminoides precipitáveis com valores de referência ≥ 0,6 mL (Brasil, 2000). Estes compostos são proteínas típicas em méis de origem floral (Basílio *et al*., 2020). Os dados

apresentados na Tabela 04 mostram que não houve alterações para este teste, assim estando dentro da norma vigente.

O mel é um alimento natural de alto valor nutricional, caracterizado por sua composição rica em carboidratos, predominantemente frutose e glicose, que fornece energia de rápida absorção. Além de seu potencial energético, destaca-se pela presença de compostos bioativos, como flavonoides e fenólicos, que exercem ação antioxidante, contribuindo para a neutralização de radicais livres e a redução do estresse oxidativo, fatores associados à prevenção de doenças crônicas. Sua composição mineral, incluindo minerais os quais desempenham um papel fundamental na regulação metabólica e na manutenção da resposta imunológica.

Os teores dos metais apresentaram uma significativa heterogeneidade devido à diversidade botânica encontrada nas matas e florestas brasileiras, na sua grande maioria as amostras se configuram como multiflorais e são denominadas como mel silvestre. No Brasil, a maior parte do mel é de origem silvestre. Neste estudo, foram quantificados oito minerais em 23 amostras analisadas, incluindo macronutrientes como Ca, K, Mg e Na, além de micronutrientes como Cr, Fe, Mn e Zn.

O elemento mais abundante nas amostras de mel analisadas foi o potássio, com concentrações variando de 83,8 a 1975,95 mg/Kg^{-1} com destaque para a amostra EAF (Embaúba) que mostrou o maior teor de potássio. Em seguida temos sódio com concentrações variando de 13,83 a 464,16 mg/Kg^{-1}, cálcio com concentrações variando de 28,9 a 262,49 mg/Kg^{-1}, dando destaque a amostra VF (Velame) que apresentou maior concentração e magnésio com concentrações variando de 20,8 a 349,53 mg/Kg^{-1}. Assim, esses teores corroboram com valores encontrados na literatura que mostram esses metais como predominantes nos méis conforme apresentado na Tabela 07 (Leal *et al*., 2022; Barreiros *et al*., 2024; Elamine *et al*., 2024; Guiné *et al*., 2022).

Tabela 05 – Concentrações dos elementos minerais nas amostras de méis por ICP - OES

AMOSTRAS	Ca	Cr	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn
ASF	189,0 ± 1,73	<LOD	10,4 ± 0,1	83,8 ± 2,4	40,8 ± 0,4	0,07 ± 0,002	21,86 ± 0,285	0,241 ± 0,005
EAL	153,6 ± 0,64	0,062 ± 0,002	211,3 ± 1,5	894,6 ± 6,9	97,8 ± 0,4	4,09 ± 0,023	370,94 ± 1,712	4,276 ± 0,016
EAV	192,7 ± 1,40	<LOQ	7,6 ±0,1	853,0 ± 1,1	268,5 ± 1,0	3,63 ± 0,038	64,17 ± 0,491	0,322 ± 0,005
L . MERC	215,4 ± 1,63	<LOQ	21,1 ± 0,0	1001,3 ± 7,8	143,8 ± 0,1	1,24 ± 0,005	118,80 ± 0,696	0,747 ± 0,004
SAP	94,9 ± 1,40	<LOD	9,0 ± 0,1	290,7 ± 7,2	41,1 ± 0,4	0,84 ± 0,013	47,65 ± 0,864	2,265 ± 0,036
SAB	85,8 ± 0,99	<LOD	17,5 ± 0,2	766,7 ± 6,9	51,7 ± 0,4	1,69 ± 0,016	52,18 ± 0,578	0,634 ± 0,011
SAJ	77,9 ± 0,85	<LOD	1,3 ± 0,0	477,9 ± 6,7	79,2 ± 0,6	1,83 ± 0,017	90,18 ± 1,272	1,025 ± 0,008
SAL	42,9 ± 0,23	<LOD	0,8 ± 0,0	85,6 ± 1,7	40,4 ± 0,4	0,010 ± 0,003	10,51 ± 0,159	0,372 ± 0,004
SPM	137,1 ± 1,62	<LOD	38,3 ± 0,4	1110,8 ± 9,3	52,6 ± 0,5	0,33 ± 0,005	10,56 ± 0,078	2,775 ± 0,027
SAV	228,2 ± 1,10	<LOD	1,3 ± 0,0	162,7 ± 2,3	173,4 ± 1,7	2,18 ± 0,028	295,00 ± 3,229	0,335 ± 0,009
SBM	37,8 ± 0,46	0,218 ± 0,004	10,7 ± 0,1	135,1 ± 2,2	23,6 ± 0,3	0,23 ± 0,005	13,83 ± 0,10	0,490 ± 0,013
SFB	28,9 ± 0,31	<LOD	9,1 ± 0,1	547,4 ± 8,6	20,8 ± 0,1	0,13 ± 0,003	15,28 ± 0,206	0,142 ± 0,001
SG	194,9 ± 0,19	<LOD	3,7 ± 0,1	140,64 ± 0,9	140,6 ± 0,9	0,71 ± 0,007	134,67 ± 1,273	0,997 ± 0,014
SAJ1	262,49 ± 2,92	0,07±0,00	9,10 ± 0,01	1896,5 ± 19,12	349,53 ± 3,80	3,06 ± 0,013	59,32 ± 0,41	2,017 ± 0,023
SAJ 2	73,46 ± 1,20	0,058±0,012	6,92 ± 0,01	745,81 ± 0,66	47,21 ± 0,21	1,35 ± 0,005	92,73 ± 1,07	0,961 ± 0,004
SAV 1	100,35 ± 0,54	0,051±0,011	7,85 ± 0,02	1257,37 ± 12,18	58,61 ± 0,55	1,02 ± 0,020	43,41 ± 0,43	0,612 ± 0,011
SAV 2	110,07 ± 0,76	0,059±0,019	8,29 ± 0,01	1299,95 ± 12,57	61,25 ± 0,42	1,05 ± 0,002	84,65 ± 0,68	0,661 ± 0,007
SPM 1	87,97 ± 0,30	0,056±0,001	6,23 ± 0,02	768,68 ± 6,31	50,76 ± 0,17	1,45 ± 0,002	106,54 ± 0,24	1,210 ± 0,006
SPM 2	143,5 ± 1,73	0,231±0,005	7,99 ± 0,02	1119,2 ± 10,82	59,92 ± 0,44	1,23 ± 0,007	96,88 ± 0,88	3,834 ± 0,017
SBM1	101,29 ± 0,78	0,085±0,022	6,8 ± 0,01	892 ± 4,48	35,00 ± 0,03	2,79 ± 0,014	37,79 ± 0,03	2,075 ± 0,017
EAF	254,72 ± 2,18	0,467±0,019	8,36 ± 0,03	1975,02 ± 13,46	130,11 ± 0,50	6,94 ± 0,053	217,22 ± 1,67	1,416 ± 0,015
SAF	92,37 ± 0,47	0,0850,006	6,55 ± 0,04	923,97 ± 15,59	35,83 ± 0,14	2,88 ± 0,008	31,91 ± 0,04	0,907 ± 0,007
VF	166,87 ± 0,31	0,1390±0,016	9,52 ± 0,40	633,17 ± 7,52	42,24 ± 0,14	0,56 ± 0,004	464,16 ± 2,32	0,767 ± 0,007

Os dados mostraram que no mel os menores valores encontrados para micronutrientes foram para Ferro (1,3 – 21,3 mgKg-1), Cromo (0,051 – 0,467 mgKg-1); Manganês (0,01 – 4,09 mgKg-1), e Zinco (0,241 – 4,27 mgKg-1).

Nota-se que, a região do Sul da Bahia e em especial a Costa do Descobrimento abriga cidades litorâneas onde a apicultura é bem presente. Com isso, altos teores de K e Na comparado as demais amostras, que segundo POHL (2009), se dá provavelmente consequência do aerossol marinho que pode ser uma fonte externa de K e Na em méis de regiões costeiras pelas presenças de sais oriundos do oceano. Estes valores estão de acordo com o relatado por POHL (2009), onde o autor cita trabalhos em que o elemento potássio é o mais predominante no perfil mineral do mel, representando cerca de 45% a 85% do total mineral, e o elemento sódio é o segundo mais predominante na composição mineral. Em Júnior *et al*. (2020) o macronutrientes mais dominante foi o K apresentando valores de concentração entre 336,74 a 1214,98 em mg/Kg-1

Apêndice A - Tabela de limites de detecção e quantificação

Tabela 06 – Limites de detecção (LOD), quantificação (LOQ) e a precisão (expressa como desvio padrão relativo) para determinação de Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na e Zn

	LOD (mg/Kg-1)	LOQ (mg/Kg-1)
Ca	0,2192	0,7307
Cr	0,0150	0,0501
Fe	0,1309	0,4365
K	0,4177	1,3924
Mg	0,0851	0,2836
Mn	0,0165	0,0549
Na	0,5120	1,7067
Zn	0,1575	0,5251

A Tabela 07 compara as concentrações dos macroelementos nas amostras de mel com os teores fornecidos pela TACO e a sua respectiva contribuição para o índice de ingestão diária recomendada (IDR).

Tabela 07 – Comparação de teores de macroelementos com teores exigidos pela TACO

Elementos	Este trabalho (µg g^{-1})	Tabela TACO (µg g^{-1})	IDR (mg)	Contribuição (%)
Ca	28,9 ± 0,31 - 262,49 ± 2,92	100	1000	0,11
K	83,8 ± 2,4 - 1299,95 ± 12,57	990	--	--
Mg	20,8 ± 0,1 - 349,53 ± 3,80	60	260	0,04
Na	13,83 ± 0,10 - 464,16 ± 2,32	60	--	--

As concentrações de Ca, K, Mg e Na nas amostras de mel estão acima dos valores fornecidos pela TACO (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos). No entanto, apesar das variações observadas, a contribuição percentual desses macroelementos para a frequência diária recomendada (IDR) é relativamente baixa. Especificamente, o cálcio contribui com apenas 0,11% do IDR, enquanto o magnésio representa 0,04%. Isso sugere que, embora o mel

possa fornecer esses minerais, ele não é uma fonte primária para atender às necessidades diárias, mas pode complementar a ingestão nutricional desses elementos.

Quanto a validação do método e devido à ausência de material de referência certificado semelhante a matriz das amostras de mel devido a sua complexidade, elementos químicos a exatidão do método foi realizada usando a técnica de adição de analito e pela técnica de calibração externa (INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, 2020). Os resultados obtidos (expressos como intervalo de confiança no nível de 95%) foram: Ca 91,0 – 107,6%, Cr 99,0 – 107,0%, Fe 101,0 – 117,0%, K 94,0 – 109,0%, Mg 86,0 – 103,0%, Mn 100,0 – 108%, Na 98,0 – 116% e Zn 100,0 – 110,0%. Os resultados mostraram boa recuperação em um nível de confiança de 95%.

Como evidenciado pelas análises químicas de amostras de mel, o potencial foi identificado como o elemento mineral mais abundante, apresentando variações de 83,8 a 1975,95 mg/Kg^{-1}, com destaque para a amostra de mel de Embaúba, que demonstrou o maior teor de concentração entre as amostras apresentadas. Em relação a outros minerais, o atualmente apresentou concentrações variando de 13,83 a 464,16 mg/Kg^{-1}, enquanto o cálcio apresentou variações de 28,9 a 262,49 mg/Kg^{-1}, com a amostra de Velame apresentando maior concentração de cálcio. O magnésio também foi aplicado, com níveis variando de 20,8 a 349,53 mg/Kg^{-1}. Esses dados corroboram estudos prévios que relatam a predominância de potássio, sódio, cálcio e magnésio nas composições minerais de diferentes tipos de mel em várias regiões e contextos (Imtara et al., 2021; Bora et al., 2024)

A literatura adjacente valida essas descobertas, apontando que a composição mineral do mel é influenciada por fatores como a origem botânica e as condições do solo, refletindo diretamente na sua composição mineral (Bodó *et al*., 2021; Bora *et al*., 2024). Em diversas pesquisas sobre a qualidade nutricional do mel, o potássio foi consistentemente identificado como um dos principais minerais (Haider *et al*., 2024; Leal et al., 2022; Barreiros et al., 2024). Além disso, estudos revelaram que o mel de diferentes origens tem perfis minerais divergentes, com méis mais escuros, apresentando frequentemente concentrações mais elevadas de macroelementos comparados a variedades mais claras (Lima *et al.*, 2022). Assim, a análise dos dados de concentração de elementos reafirma a relevância da condição ecofisiológica em determinar a riqueza mineral do mel (Lima *et al*., 2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mel, um alimento de alto valor nutricional e medicinal, desempenha um papel essencial tanto na saúde humana quanto na economia, especialmente no contexto da apicultura familiar e do associativismo no Brasil. Além de ser um produto de grande relevância econômica, a apicultura contribui significativamente para a preservação ambiental e a manutenção da biodiversidade, uma vez que as abelhas desempenham um papel crucial na polinização e na sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas e naturais.

No entanto, apesar de suas propriedades benéficas, os desafios mais graves são enfrentados, como a adulteração e a contaminação ambiental, que podem comprometer sua qualidade. A composição do mel varia conforme a origem floral e as condições ambientais, tornando essencial um monitoramento do ambiente para garantir sua autenticidade. As fraudes impulsionadas por interesses comerciais colocam o mel entre os alimentos mais suscetíveis a adulterações, tornando necessária a implementação de medidas de controle de qualidade.

A análise dos parâmetros físico-químicos do mel mostrou-se uma ferramenta eficaz para avaliar sua qualidade e identificar possíveis adulterações. No estudo realizado, três amostras não estavam em conformidade com a legislação vigente, nos revelando adulteração, enquanto demais atendiam aos padrões exigidos. Além disso, os metais analisados estavam dentro dos limites permitidos, e a variação na concentração desses elementos foi associada à origem botânica e geográfica do mel. Os resultados também confirmaram a alta presença de alguns minerais como potássio, cálcio, magnésio, ferro e açúcares (glicose e frutose), reforçando seu valor nutricional e medicinal.

Diante desses desafios, a fiscalização é fundamental para garantir a oferta de alimentos seguros e de qualidade aos consumidores. O fortalecimento das ações de controle contribui para retirar do mercado produtos irregulares e valorizar os produtores que seguem as normas legais tanto

no manejo e produção quanto no registro de seus produtos. Por fim, uma revisão dos critérios de qualidade do mel e seu uso como bioindicador reforçam a necessidade de regulamentações rigorosas e de pesquisas contínuas para combater a adulteração e a contaminação. Garantir a proteção do mel e proteger a saúde das populações de abelhas são passos fundamentais para preservar os benefícios desse alimento para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

AFRIN, S. et al. Strawberry-Tree Honey Induces Growth Inhibition of Human Colon Cancer Cells and Increases ROS Generation: A Comparison with Manuka Honey. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 3, p. 613, 11 mar. 2017.

AFROZ, R. et al. Protective Effect of Sundarban Honey against Acetaminophen-Induced Acute Hepatonephrotoxicity in Rats. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, p. 1–8, 2014.

AGHARMIRLOUET, H. M. et al. Heavy metals determination in honey samples using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 13, p. 39, 1 Maio 2015.

AGROSTAT - SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR/MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E DO ABASTECIMENTO. MDIC/MAPA. Agrostat. Disponível em:. Acesso em: 09 de jun. 2024.

ALDASORO MAYA, E. M. et al. Stingless bee keeping: Biocultural conservation and agroecological education. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 13 jan. 2023.

ALMEIDA, R.; SILVA, **BIODIVERSIDADE DE LEVEDURAS CULTIVÁVEIS ASSOCIADAS AO MEL E AO PÓLEN DAS ABELHAS SEM FERRÃO: Identificação por espectrometria de massa MALDI- TOF MS**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://pgalimentos.ufba.br/sites/pgalimentos.ufba.br/files/dissertacao_final-raquel_silva_modificado.pdf>. 2022

ALQARNI, A. S. et al. Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 18, n. 5, p. 618–625, nov. 2014.

ANAND, S. et al. Antimicrobial Activity of Agastache Honey and Characterization of Its Bioactive Compounds in Comparison With Important Commercial Honeys. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 25 fev. 2019.

ANTONIO et al. Evaluation of the content of macro and trace elements and the geographic origin of honey in North Brazil through statistical and machine learning techniques. **Journal of food composition and analysis**, v. 128, p. 106050–106050, 1 abr. 2024.

BACHAHALLI NARASIMHAIAH GOPINATHA; SEKARAPPA BASAVARAJAPPA. Pests and predators interference on the stingless bee population inhabited at different habitats amidst south-eastern Karnataka, India. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 10, n. 5, p. 191–202, 1 set. 2022.

BALÁZS, V. L. et al. Antibacterial and Antibiofilm Effect of Unifloral Honeys against Bacteria Isolated from Chronic Wound Infections. **Microorganisms**, v. 11, n. 2, p. 509, 17 fev. 2023.

BARBIÉRI, C.; FRANCOY, T. M. Theoretical model for interdisciplinary analysis of human activities: Meliponiculture as an activity that promotes sustainability. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.

Barreiros, J., Cepeda, A., Franco, C., Nebot, C., & Vázquez, B. (2024). Analysis of minerals in honey and their nutritional implications. *Journal of Food Composition and Analysis*, *136*, 106733. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106733

Basílio, T. A., Antoniolli, E., Schmitz, E. P. S., & Starikoff, K. R. (2020). Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica de méis da cidade de IratiPR. Higiene Alimentar, 34(291), e1030. https://doi.org/10.37585/HA 2020

Batistela, V. F. S., Martelli, S. M. M., Imamura, J. L. A., Silva, G. S., Aranha, C. P. M., & Altemio, A. D. C. (2023). Caracterização física e química de méis de abelha-europeia (Apis mellifera) produzidos no estado de Mato Grosso do Sul. Peer Review, 5, 333–344. https://doi.org/10.53660/1288.prw2816

BECERRIL-SÁNCHEZ, A. L. et al. Phenolic Compounds in Honey and Their Relationship with Antioxidant Activity, Botanical Origin, and Color. **Antioxidants**, v. 10, n. 11, p. 1700, 27 out. 2021.

BIASIOLI, I. (2021). **Mel doce mel**. Disponível em: <https://www.dinheirorural.com.br/mel-doce-mel/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

BILANDŽIĆ, N. et al. Major and trace elements levels in multifloral and unifloral honeys in Croatia. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 33, n. 2, p. 132–138, mar. 2014.

BODÓ, A. et al. Quality Evaluation of Light- and Dark-Colored Hungarian Honeys, Focusing on Botanical Origin, Antioxidant Capacity and Mineral Content. **Molecules**, v. 26, n. 9, p. 2825, 10 maio 2021.

BOGDANOV, S. et al. Honey for Nutrition and Health: A Review. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 27, n. 6, p. 677–689, dez. 2008
.
Bogdanov, S. Honey as Nutrient and Functional Food. Mel; Ciência de produtos apícolas: 2017; Capítulo 8. Disponível online: **www.bee-hexagon.net** (acessado em 20 de agosto de 2024).

BORGES, M. S. et al. Utilização do mel como terapia complementar: uma revisão sobre as propriedades biológicas associadas ao mel / Use of honey as a complementary therapy: a review of the biological properties related to honey. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 2, p. 1027–1045, 8 abr. 2021.

BOSI, G.; BATTAGLINI, M. Gas Chromatographic Analysis of Free and Protein Amino Acids in Some Unifloral Honeys. **Journal of Apicultural Research**, v. 17, n. 3, p. 152–166, jan. 1978.

BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa n°11, de 20 de outubro de 2000. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel. Brasília. Diário Oficial da União, 23 out 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020. Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 ago. 2020.

BRUGNEROTTO, P. Desenvolvimento e validação de método por eletroforese capilar para análise simultânea de ácidos orgânicos alifáticos em méis de melato de bracatinga (Mimosa scabrella Benth.) e florais do estado de Santa Catarina. 2018. **Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos**) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BURKLE, L. A.; DELPHIA, C. M.; O'NEILL, K. M. A dual role for farmlands: food security and pollinator conservation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 4, p. 890–899, 19 jun. 2017.

CAMARGO, R. et al. Mel: características e propriedades. **Embrapa Meio-Norte. Documentos**, 150, Teresina, ed. 1, p. 28, 2006.

CAMPONE, L. et al. Determination of phenolic compounds in honey using dispersive liquid–liquid microextraction. **Journal of Chromatography A**, v. 1334, p. 9–15, mar. 2014.

CAMPOS, NA et al. Mercúrio em mel de espécies de abelhas sem ferrão das regiões sul, sudeste e norte (Amazônia) do Brasil. **Journal of food composition and analysis: an official publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems** , v. 129, n. 106084, p. 106084, 2024.

CARVALHO, C. A. L.; SOUZA, B. A.; SODRÉ, G. S.; MARCHINI, L. C.; ALVES, R. M. O. Mel de abelhas sem ferrão: contribuição para a caracterização físico-química, Cruz das Almas, ed. 1, p. 32, 2005.

CHEN, J. et al. Pollen-mimicking, enzyme-loaded microparticles to reduce organophosphate toxicity in managed pollinators. **Research Square (Research Square)**, 26 out. 2020.
CHOU, W.-M. et al. Evaluation of Honey Quality with Stored Time and Temperatures. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 8, n. 10, p. 591–599, 30 out. 2020.

CHUA, L. S. et al. Antioxidant Activity of Three Honey Samples in relation with Their Biochemical Components. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, v. 2013, p. 1–8, 2013.

CIANCIOSI, D. et al. Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: a Review. **Molecules**, v. 23, n. 9, p. 2322, 11 set. 2018.

ĆIRIĆ, J. et al. Honey Bees and Their Products as Indicators of Environmental Element Deposition. **Biological Trace Element Research**, v. 199, n. 6, p. 2312–2319, 5 ago. 2020.
Codex Alimentarius Commission. (2001). Codex Standard for Honey Codex Stan (Rev. 2, Vol. 2). Codex Standard, 1-7.

COMBARROS-FUERTES, P. et al. Honey: Another Alternative in the Fight against Antibiotic-Resistant Bacteria? **Antibiotics**, v. 9, n. 11, p. 774, 4 nov. 2020.

Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional | Bahia investe mais de R$61 milhões no sistema produtivo do mel. Disponível em: <https://www.car.ba.gov.br/galeria-multimidia/bahia-investe-mais-de-r61-milhoes-no-sistema-produtivo-do-mel>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CULLEN, M. G. et al. Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of existing research and methods. **PLOS ONE**, v. 14, n. 12, p. e0225743, 10 dez. 2019.

CUNNINGHAM, M. M. et al. Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. **Ecological Indicators**, v. 134, n. 108457, p. 108457, jan. 2022.

DI BELLA, G.; LO TURCO, VICENZO.; PORTOTI, A. G.; BUA, G. D.; FEDE, M. R.; DUGO, G. Journal of Food Composition and Analysis, v.44, p.25, 2021

DI, R. et al. Novel approach for the characterisation of Sicilian honeys based on the correlation of physico-chemical parameters and artificial senses. v. 18, n. 1, p. 389–397, 2 jan. 2019.

DINIZ, F. Brasil reforça os padrões regulatórios de agrotóxicos para proteger abelhas e outros insetos polinizadores. 2017. Disponível em: . Acesso em: 15 maio. 2025.

DOURADO, G. S.; CARDOSO, J. S. A.; CARDOSO,I. F.; LIMA, A. K. O.; DA SILVA, S. K. R.; TAUBE, P. S. Avaliação da Capacidade Antimicrobiana de Nanopartículas de Prata Sintetizadas com Mel de Abelha. Ensaios, v. 24, n. 3, p. 305-309, 2020.

DŻUGAN et al. Coniferous Honeydew Honey: Antibacterial Activity and Anti-Migration Properties against Breast Cancer Cell Line (MCF-7). **Applied sciences**, v. 14, n. 2, p. 710–710, 14 jan. 2024.

Elamine, Y., Inácio, P. M. C., Graça Miguel, M., Carlier, J. D., Costa, M. C., Estevinho, L. M., & Gomes, H. L. (2024). Electrical impedance spectroscopy for potassium content analysis and botanical origin identification of honey. *Food Chemistry*, *453*, 139605. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139605

EERAERTS, M. et al. A Growers' Perspective on Crop Pollination and Measures to Manage the Pollination Service of Wild Pollinators in Sweet Cherry Cultivation. **Insects**, v. 11, n. 6, p. 372, 15 jun. 2020.

EMBRAPA. 2023. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção de Mel. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1156063/sistema-de-producao-de-mel. Acesso em: 06 nov. 2023.

ESCOBAR, A. L. S., XAVIER, F. B. Propriedades fitoterápicas do mel de abelhas. **Revista Uningá**, [S. l.], v. 37, n. 1, 2013. Disponível em: https://revista.uninga.br/uninga/article/view/1115. Acesso em: 9 abr. 2023.

Escuredo O, Dobre I , Fernández-González M e Seijo MC , Contribuição da origem botânica e da composição de açúcares dos méis no fenômeno de cristalização . *Food Chem* **149** : 84 – 90 (2014).

EU, Commission regulation (EU) 2015/1005 of 25 June 2015 amending regulation (EC No 1881/2006 as regards maximum levels of lead in certain foodstuffs, Off. J. Eur. Union 58 (L161) (2015) 9–13.

EVERSTINE, K. D. et al. Database of Food Fraud Records: Summary of Data from 1980 to 2022. **Journal of Food Protection**, v. 87, n. 3, p. 100227, 1 mar. 2024.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação Faostat. Food balance. Disponível em:< https://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS> Acesso em: 04 ago. 2024

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Faostat. Food balances. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS. Acesso em 22 mar. 2022.

FAÚNDEZ, X. et al. Evaluation of the generation of reactive oxygen species and antibacterial activity of honey as a function of its phenolic and mineral composition. **Food Chemistry**, v. 426, p. 136561, 15 nov. 2023.

Florentino, A. P., Lima, C. V., Morandini, G. G., Silva, G. C., Morelli, L. M., Battistin, L., Pivato, M. E. B., Silva, M. S. F., Vieira, M. F., Canute, M. S., Paulino, M. S. M., Araujo, P. C., Cravo, B. R., Silvestre, V. R., Neckel, L. G. S., Martins, O. A., Sampaio, A. N. C. E., Possebon, F. S., & Pereira, J. G. (2023). High frequency of fraud in honey without sanitary inspection illegally sold in São Paulo State. *Food Science and Technology, 43*. https://doi.org/10.5327/fst.0026723

FRANCISQUINI, J. D. et al. REAÇÃO DE MAILLARD: UMA REVISÃO. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 72, n. 1, p. 48, 21 nov. 2017.

FREDIJS DIMIŅŠ et al. Microwave Facilities for Thermal Treatment of Honey. **Key engineering materials**, v. 800, p. 103–107, 1 abr. 2019.

FREITAS, E. P. B. de; CRAVEIRO, R. S.; ASSUNÇÃO, J. M. B. de; LOPES, Y. M. dos S.; MODESTO JUNIOR, E. N.; SOUZA, R. F. de. Physicochemical characterization of honey produced in the municipality of Cachoeira do Arari – Ilha de Marajó, Pará. **Research, Society and Development**, *[S. l.]*, v. 11, n. 3, p. e34811326532, 2022. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26532. Acesso em: 18 mar. 2025.

Garcia, L. N. H., Castro, B. G. D., Velame, M. S., Raghiante, F., Pinto, J. P. A. N., Possebon, F. S., & Martins, O. A. (2018). Physical-chemical quality of honey of Apis mellifera of different flowering. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal, 12(1)**

GARCÍA, N. L. The current situation on the international honey market. Bee World, Taylor & Francis, v. 95, n. 3, p. 89–94, 2018.

GEKIÈRE, A.; VANDERPLANCK, M.; MICHEZ, D. Trace metals with heavy consequences on bees: A comprehensive review. **Science of The Total Environment**, v. 895, p. 165084, 15 out. 2023.

Gois, G. C. et al. Composição do mel de Apis mellifera: requisitos de qualidade. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 2, p. 137-147, 2013.

GOMES, P. W. P. et al. AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE MÉIS DE ABELHAS COMERCIALIZADOS NO MUNICÍPIO DE SOURE – MARAJÓ - PARÁ. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 2920–2933, 1 dez. 2015.

GONZÁLEZ-CEBALLOS, L. et al. A simple one-pot determination of both total phenolic content and antioxidant activity of honey by polymer chemosensors. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128300, 16 abr. 2021.

Gregar, F., Grepl, J., Milde, D., & Pluháček, T. (2024). Direct elemental analysis of plant oils by inductively coupled plasma mass spectrometry: Simple sample dilution combined with oxygen introduction into the plasma. *Food Chemistry*, *447*, 139010. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139010

Guiné, R. P. F., Florença, S. G., Correia, P. M. R., Anjos, O., Coelho, C., & Costa, C. A. (2022). Honey Bee (Apis mellifera L.) Broods: Composition, Technology and Gastronomic Applicability. *Foods*, *11*(18), 2750.

HAIDER, Z. et al., Avaliação de minerais essenciais e análise físico-química de mel fresco de origem floral produzido por *Apis mellifera*. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 84, p. e263534, 2024.

HERATH, D. et al. Using multiple methods to assess heavy metal pollution in an urban city. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 11, 20 out. 2018.

HUANG, Z. et al. Nondestructive Determination of Diastase Activity of Honey Based on Visible and Near-Infrared Spectroscopy. **Molecules**, v. 24, n. 7, p. 1244, 29 mar. 2019.
IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa pecuária municipal. IBGE (2023). Disponível em: < https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/74>. Acesso em: 5 de jun. 2023.

IAL, I. A. L. (2008). CAPÍTULO VII AÇÚCARES E PRODUTOS CORRELATOS. In O. Zenebon, N. S. Pascuet, & T. Paulo (Eds.), *Métodos físico-químicos para análise de alimentos* (4°, pp. 321–364).

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Q. e T. (2020). *ORIENTAÇÃO SOBRE VALIDAÇÃO DE MÉTODOS ANALÍTICOS* (p. 30).

http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/organismos/doc_organismos.asp?tOrganismo=AvalLAB&iacao=imprimir

Islam, A., Khalil, I., Islam, N., Moniruzzaman, M., Mottalib, A., Sulaiman, S. A., … & Gan, S. H. (2012). Physicochemical and antioxidant properties of bangladeshi honeys stored for more than one year. BMC Complementary and Alternative Medicine, 12(1).

ITO, E. H. et al. Características físico-químicas dos méis de abelhas Apis mellifera produzidos na região do Pólo Cuesta, São Paulo, Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75, 27 dez. 2018.

IOANNIS KONSTANTINOS KARABAGIAS. Analysis of heavy metals as contaminants in honey. **Elsevier eBooks**, p. 309–323, 1 jan. 2024.

JÄRLSKOG, I. et al. Traffic-related microplastic particles, metals, and organic pollutants in an urban area under reconstruction. **Science of The Total Environment**, v. 774, p. 145503, 20 jun. 2021.

JÚNIOR, S. et al. Multi-element composition, physicochemical and pollen attributes of honeys from the Paraguaçu River (Bahia, Brazil) by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP OES). **Anais Da Academia Brasileira De Ciencias**, v. 92, n. 3, 1 jan. 2020.

KAMAL, MD. M. et al. Physicochemical and microbiological characteristics of honey obtained through sugar feeding of bees. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 2267–2277, 19 mar. 2019.

KAUSHAL, S. S. et al. Making “chemical cocktails” – Evolution of urban geochemical processes across the periodic table of elements. **Applied Geochemistry**, v. 119, p. 104632, ago. 2020.

KASTRATI, G. et al. Analysis of chemical elements in honey samples in the territory of Kosovo. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 124, p. 105505, dez. 2023.

KEŠNEROVÁ, L. et al. Disentangling metabolic functions of bacteria in the honey bee gut. **PLOS Biology**, v. 15, n. 12, p. e2003467, 12 dez. 2017.

KHALIFA, S. A. M. et al. Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. **Insects**, v. 12, n. 8, p. 688, 1 ago. 2021.

KLOSOWSKI, Ana Lea Macohon; KUASOSKI, Marli; BONETTI, Maria Beatriz Petroski. Apicultura brasileira: inovação e propriedade industrial. Revista de Política Agrícola, v. 29, n. 1, p. 41, 2020.

KONSTANTIN ILIJEVIĆ et al. Anthropogenic influence on seasonal and spatial variation in bioelements and non-essential elements in honeybees and their hemolymph. **Comparative biochemistry and physiology. Part C, Toxicology & pharmacology/Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology**, v. 239, p. 108852–108852, 1 jan. 2021.

Kudva, AK; Rao, S.; Rao, P.; Pais, M.; Adnan, M.; Pai, KS; Baliga, MS Evidências para propriedades anticâncer do mel com ênfase na visão geral mecanicista. *Funct. Alimentos Câncer Prev. Ther.* **2020** , 121–135.

Leal, S. Et Al. perfil de elementos inorgânicos em amostras de mel do Estado Do Maranhão Como Um Potencial Bioindicador De Origem Geográfica. **Química Nova**, 2022.

LEÓN-RUIZ, V. et al. Analysis of Water-Soluble Vitamins in Honey by Isocratic RP- HPLC. **Food Analytical Methods**, v. 6, n. 2, p. 488–496, 26 jul. 2012.

LI, Z. et al. Identification of the Toxic Compounds in *Camellia oleifera* Honey and Pollen to Honey Bees (*Apis mellifera*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 10 out. 2022.

LIU, M. et al. Analysis of physicochemical components and antioxidants of four kinds of Guizhou honey. **Food Science and Technology**, v. 43, 29 ago. 2023.

LIU, T. et al. Discrimination of honey and syrup-based adulteration by mineral element chemometrics profiling. v. 343, p. 128455–128455, 1 maio 2021.

ŁOZOWICKA, B.; KACZYŃSKI, P.; IWANIUK, P. Analysis of 22 free amino acids in honey from Eastern Europe and Central Asia using LC-MS/MS technique without derivatization step. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 98, p. 103837, maio 2021.

LOUPPIS, A. P. et al. Two-Way Characterization of Beekeepers' Honey According to Botanical Origin on the Basis of Mineral Content Analysis Using ICP-OES Implemented with Multiple Chemometric Tools. **Foods**, v. 8, n. 6, p. 210, 14 jun. 2019.

LUCCAS, F. S., Fernandes, E. A. D. N., Mazola, Y. T., Bacchi, M. A., & Sarriés, G. A. (2022). Optimization of sample preparation of Brazilian honeys for TQ-ICP-MS analysis. *Talanta Open*, *5*, 100117. https://doi.org/10.1016/j.talo.2022.100117

MACHADO DE-MELO, A. A. et al. Composition and properties ofApis melliferahoney: A review. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 1, p. 5–37, 23 jun. 2017.

MARIANA, C. et al. Padrão De Identidade E Qualidade Do Mel De Apis Mellifera: Uma Breve Revisão. **Instituto Internacional Despertando Vocações eBooks**, p. 741–758, 1 jan. 2020.

MARTINEZ, O. A.; SOARES, A. E. E. Melhoramento genético na apicultura comercial para produção da própolis. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., Salvador, v.13, n.4, p.982-990, 2012.

MASOURA, M. et al. Use of a model to understand the synergies underlying the antibacterial mechanism of H2O2-producing honeys. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 17692, 19 out. 2020.

MARSARO JÚNIOR, A. L. et al. Manejo de insetos polinizadores adotado por produtores de canola do Rio Grande do Sul e do Paraná. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 20p. 2019. (Embrapa Trigo. Circular técnica online, 43).

MIGUEL MG, ANTUNES MD & FALEIRO ML. 2017. Mel como medicamento complementar. Integr Med Insights 12: 1-15.

MIŁEK, M. et al. The Comparison of Physicochemical Parameters, Antioxidant Activity and Proteins for the Raw Local Polish Honeys and Imported Honey Blends. **Molecules**, v. 26, n. 9, p. 2423, 21 abr. 2021.

MISSIO DA SILVA, P. et al. Stability of Brazilian Apis mellifera L. honey during prolonged storage: Physicochemical parameters and bioactive compounds. **LWT**, v. 129, p. 109521, 1 jul. 2020.

MONGI, R. J. Influence of botanical origin and geographical zones on physicochemical properties, mineral contents and consumer acceptance of honey in Tanzania. **Food Chemistry Advances**, v. 4, p. 100731, 14 maio 2024.

MOREIRA, D. **Bahia celebra o Dia do Apicultor com destaque na produção nacional de mel - Secom GOVBA**. Disponível em: <https://www.comunicacao.ba.gov.br/2024/05/noticias/bahia-celebra-o-dia-do-apicultor-com-destaque-na-producao-nacional-de-mel/>. Acesso em: 01 set. 2024.

MOURA, S. G. B**oas práticas apícolas e a qualidade do mel de abelhas Apis mellifera Linnaeus**, 1758. 2010. Tese (Doutorado em Concentração: Sanidade e Reprodução Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

MOURA, S. G. **Qualidade do mel de abelhas (Apis mellifera L.) em função do ambiente e do tempo de armazenamento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Área de Concentração: Produção de Animais de Interesse Econômico) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2006.

NAYIK, G.; NANDA, V. Physico-chemical, Enzymatic, Mineral and Colour Characterization of Three Different Varieties of Honeys from Kashmir Valley of India with a Multivariate Approach. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 65, n. 2, p. 101–108, 30 jun. 2015.

NOLAN, V. C.; HARRISON, J.; COX, J. A. G. Dissecting the Antimicrobial Composition of Honey. **Antibiotics**, v. 8, n. 4, p. 251, 5 dez. 2019.

ODDO, L. P.; PIAZZA, M. G.; PULCINI, P. Invertase activity in honey. **Apidologie**, v. 30, n. 1, p. 57–65, 1999.

OLIVEIRA, F. M. et al. Classificação de méis do Rio Grande do Sul (Brasil) pela análise multivariada de dados com base nas propriedades físicas e composição química. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 8, p. 57413-57431, 2020.

OLIVEIRA, G. V.; PAES, T. G. B.; OLIVEIRA, K. A. M. Qualidade microbiológica e química do mel (Apis mellifera) submetido a diferentes tratamentos térmicos. Revista Panorâmica, p. 150-166, 2019.

PEREIRA, J. R. et al. Physical-chemical characterization of commercial honeys from Minas Gerais, Brazil. **Food Bioscience**, v. 36, p. 100-644, 2020.

PHIPPS, R. Investigating Food Fraud in the Honey Industry. 2020. https://www. news-medical.net/news/20210316/Investigating-Food-Fraud-in-the-Honey-Industry.aspx. Acesso em: 13 jun. 2021.

PIMENTEL, R. B. DE Q. et al. Antimicrobial activity and rutin identification of honey produced by the stingless bee Melipona compressipes manaosensis and commercial honey. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 13, n. 1, 1 jul. 2013.

Pleeging, CCF , Wagener, FADTG , De Rooster, H. , & Cremers, NAJ (2022). Revolucionando a cicatrização não convencional de feridas usando mel ao atingir simultaneamente múltiplos mecanismos moleculares . *Drug Resistance Updates* , **62** , 100834.

PLOEGAERTS, G. et al. Determination of metals and metalloids in traces in honey: Evaluation of different sample preparation methods and assay techniques. **Journal of Trace Elements and Minerals**, v. 4, p. 100070, jun. 2023.

Pohl, P., & Sergiel, I. (2010). Determinação direta das concentrações totais de cobre, ferro e manganês e suas formas de fracionamento em méis recém-amadurecidos por meio de espectrometria de absorção atômica de chama. *Microchimica Acta, 168* , 9-15.

PROAÑO, A. et al. The osmotic action of sugar combined with hydrogen peroxide and bee-derived antibacterial peptide Defensin-1 is crucial for the antibiofilm activity of eucalyptus honey. **LWT**, v. 136, p. 110379, jan. 2021.

RAMALHOSA, E; GOMES, T.; PEREIRA, P.P; DIAS, T.; ESTEVINHO, L.M. Mead production: tradition versus modernity. Advances in Food and Nutrition Research, Amsterdan, v. 63, p. 101–118, 2011.

REILLY, J. R. et al. Crop production in the USA is frequently limited by a lack of pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 287, n. 1931, p. 20200922, 29 jul. 2020.

REYES-GONZÁLEZ, A. et al. Stingless bees (Apidae: Meliponini) at risk in western Mexico. v. 54, n. 4, p. 829–838, 7 abr. 2022.

ROLIM, M. B. D. Q., Andrade, G. P., Rolim, A. M. Q., Queiroz, A. P. F., Cavalcanti, É. F. T. S. F., Moura, A. P. B. L. & Lima, P. F. (2018). Generalidades sobre o mel e parâmetros de qualidade no Brasil: revisão. Medicina Veterinária (UFRPE), 12(1), 73-81

ROMANI, V. P. et al. Physicochemical attributes of honey as a measure of enhanced beekeeping in the Bois River Valley, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 48, 1 jan. 2024.

SABA, ZH , Suzana, M. , & Anum, MY (2013). Mel: Alimento ou remédio . *Med. Saúde* , **8** (1), 3 – 18.

SAHIN, H.; KOLAYLI, S.; BEYKAYA, M. Investigation of Variations of Invertase and Glucose Oxidase Degrees against Heating and Timing Options in Raw Honeys. **Journal of Chemistry**, v. 2020, p. e5398062, 27 mar. 2020.

SAJID, M. et al. Comparative study of physio-chemical analysis of fresh and branded honeys from Pakistan. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 1, p. 173–176, jan. 2020.

SALES, S. et al. Determination of essential and potentially toxic elements and their estimation of bioaccessibility in honeys. **Microchemical Journal**, v. 151, p. 104221–104221, 1 dez. 2019.

SAMARGHANDIAN, S.; FARKHONDEH, T.; SAMINI, F. Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research. **Pharmacognosy research**, v. 9, n. 2, p. 121–127, 2017.

Santos Júnior, ADF et al. Composição multielementar, atributos físico-químicos e polínicos de méis do Rio Paraguaçu (Bahia, Brasil) por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 92, n. 3, p. e20181196, 2020.

SANTOS, J. S. DOS; SANTOS, N. S. DOS; SANTOS, M. S. P. DOS; SANTOS, S. N. DOS; LACERDA, J. J. DE J. Honey classification from semi-arid, atlantic and transitional forest zones in Bahia, Brazil. Journal of the Brazilian Chemical Society, São Paulo, v.19, n.3, p.502-508, 2008.

SCHIAVO, B. et al. Oxidative potential of metal-polluted urban dust as a potential environmental stressor for chronic diseases. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, n. 6, p. 3229–3250, 5 out. 2022.

SCRIPCĂ, L. A.; AMARIEI, S. The Influence of Chemical Contaminants on the Physicochemical Properties of Unifloral and Multifloral Honey from the North-East Region of Romania. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 1039, 10 maio 2021.

SELVARAJU, K. et al. Melissopalynological, physicochemical and antioxidant properties of honey from West Coast of Malaysia. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 5, p. 2508–2521, 3 abr. 2019.
SERAGLIO, S. K. T. et al. Quality, composition and health-protective properties of citrus honey: A review. **Food Research International**, v. 143, p. 110268, 1 maio 2021.

SILVA, L. R. et al. Authentication of honeys from Caramulo region (Portugal): Pollen spectrum, physicochemical characteristics, mineral content, and phenolic profile. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 2, p. 374–385, fev. 2020.

Silva, B., Antunes, A. C. N., Gomes, V. V., dos Santos, A. C., Schulz, M., Seraglio, S. K. T., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. (2024). Brazilian floral honeys: physicochemical, phenolic compounds, organic acids, and mineral characterization. *European Food Research and Technology*, *250*(11), 2877–2891.

Silva, R. C. M. da, Santos, C. B. dos, Costa, A., et al. (2023). Physical-chemical and microscopic characterization of bee honey (Apis mellifera L.) produced in Pernambuco and sold in the Metropolitan Region of Recife, Brazil: Caracterização físico-química e microscópica em méis de abelha (Apis mellifera L.) produzidos em Pernambuco e comercializados na Região Metropolitana do Recife, Brasil. Concilium, 23(13), 200–215. https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/3605

SKADIŅŠ et al. Antimicrobial and Antibiofilm Properties of Latvian Honey against Causative Agents of Wound Infections. **Antibiotics**, v. 12, n. 5, p. 816–816, 26 abr. 2023.

SMITH, M. R. et al. Pollinator Deficits, Food Consumption, and Consequences for Human Health: A Modeling Study. **Environmental Health Perspectives**, v. 130, n. 12, p. 127003, 1 dez. 2022.

SMITH, K. E. et al. Honey as a biomonitor for a changing world. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 3, p. 223–232, mar. 2019.

SMITH, K. E. et al. Regional and global perspectives of honey as a record of lead in the environment. **Environmental Research**, v. 195, p. 110800, abr. 2021.

SMITH, K. E. et al. Honey Maps the Pb Fallout from the 2019 Fire at Notre-Dame Cathedral, Paris: A Geochemical Perspective. **Environmental Science & Technology Letters**, v. 7, n. 10, p. 753–759, 20 jul. 2020.

Solayman, MD. et al. Physicochemical Properties, Minerals, Trace Elements, and Heavy Metals in Honey of Different Origins: A Comprehensive Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 219–233, 18 nov. 2015.

Solayman, Md.; Asiful Islam, Md., Sudip, P.; Yousuf, A.; Khalil, Md. I.; Alam, N. and Gan, S. H. Institute of Food Technologists., 2016, 15, 1

SRAMEK, M. et al. Inactivation kinetics of invertase in honey and honey-glucose syrup formulations: effects of temperature and water activity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 4, p. 1178–1184, 6 jul. 2016.

STAVROPOULOU, E. et al. Microbial Community Structure among Honey Samples of Different Pollen Origin. **Antibiotics**, v. 12, n. 1, p. 101, 6 jan. 2023.

TAHIR, H. E. et al. Chemical Composition, Nutritional Functions, and Antioxidant Activities of Honeys in Africa. **Journal of Apicultural Science**, v. 63, n. 2, p. 179–200, 1 dez. 2019.

TAORMINA, P. J.; NIEMIRA, B. A.; BEUCHAT, L. R. Inhibitory activity of honey against foodborne pathogens as influenced by the presence of hydrogen peroxide and level of antioxidant power. **International Journal of Food Microbiology**, v. 69, n. 3, p. 217–225, set. 2001.

TO, E. H., ARAÚJO, W. L. L, SHINOHARA, A. J., BARROS, D. C. B., CAMILI, M. P.; ORSI, R. O. Características físico-química dos méis de abelhas apis mellifera produzidos na região do polo cuesta, São Paulo, Brasil. Bol. Ind. Anim., Nova Odessa,v.75, p.1-9, 2018.

Value of Pollination Services in Farmlands Adjacent to Mau, Cherangany and Mt. Elgon Forests. **Journal of Natural Sciences Research**, maio 2019.

VALVERDE, S. et al. Development and validation of ultra high performance-liquid chromatography–tandem mass spectrometry based methods for the determination of neonicotinoid insecticides in honey. **Food Chemistry**, v. 266, p. 215–222, 1 nov. 2018.

VARASSIN, IG et al. Sistemas de polinização na Mata Atlântica: caracterização, novidades e oportunidades. Em: EM, MMG (Ed.). **A Mata Atlântica: história, biodiversidade, ameaças e oportunidades da floresta megadiversa** . Cham: Springer, p. 325–344. 2021.

VASIĆ, V. et al. Two aspects of honeydew honey authenticity: Application of advance analytical methods and chemometrics. **Food Chemistry**, v. 305, p. 125457, fev. 2020.

VENTURINI, KS; SARCINELLI, MF; SILVA, LC. Características do Mel. Boletim Técnico, PIE-UFES, 2007.

VERACEL. **Plano estratégico de apoio à apicultura no Sul da Bahia**. Disponível em: <https://www.veracel.com.br/plano-estrategico-de-apoio-a-apicultura-no-sul-da-bahia/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

VIDAL, M. F. Mel natural. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 7, n.219, abr. 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1198. Acesso em: 09 ago. 2022

VIEIRA, T. R. et al. Caracterização físico-química e botânica do mel de abelhas sem ferrão (Meliponini), de ocorrência no Vale do Taquari – RS, objetivando edição de RTIQ. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, p. e29312340846, 20 mar. 2023.

Vîjan, L. E., Mazilu, I. C., Enache, C., Enache, S., & Topală, C. M. (2023). Botanical Origin Influence on Some Honey Physicochemical Characteristics and Antioxidant Properties. *Foods*, *12*(11), 2134. https://doi.org/10.3390/foods12112134

Waheeda, M.; Hussain, MB; Javed, A.; Mushtaq, Z.; Hassan, S.; Shariati, MA; Khan, MU; Majeed, M.; Nigam, M.; Mishra, AP; et al. Mel e câncer: uma revisão mecanicista. *2019***,** 38, 2499–2503.

WANG, X.; BIRCH, G. F.; LIU, E. Traffic emission dominates the spatial variations of metal contamination and ecological-health risks in urban park soil. **Chemosphere**, v. 297, p. 134155, jun. 2022.

ZERGUI, A.; BOUDALIA, S.; JOSEPH, M. L. Heavy metals in honey and poultry eggs as indicators of environmental pollution and potential risks to human health. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 119, p. 105255, 1 jun. 2023.

ZHU, Z. et al. Sugaring-out assisted liquid-liquid extraction coupled with high performance liquid chromatography-electrochemical detection for the determination of 17 phenolic compounds in honey. **Journal of Chromatography A**, v. 1601, p. 104–114, set. 2019.