

INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS

Câmpus Anápolis

NICOLAS SOARES ALMEIDA

**ORIGEM BOTÂNICA E CONTROLE DE QUALIDADE BIO-FÍSICO-QUÍMICO
DO MEL DO CERRADO**

Anápolis, GO

2025

INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS

Câmpus Anápolis

NICOLAS SOARES ALMEIDA

**ORIGEM BOTÂNICA E CONTROLE DE QUALIDADE BIO-FÍSICO-QUÍMICO
DO MEL DO CERRADO**

Trabalho de conclusão do Curso de
Licenciatura em Química,
apresentado à Coordenação de
Química do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás.

Orientador: Prof. Dr.: Thiago Eduardo Pereira Alves

Anápolis, GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A447o Almeida, Nicolas Soares.

Origem botânica e controle de qualidade bio-físico-químico do mel do cerrado. / Aquila de Souza Menezes. – Anápolis: IFG, 2025.
94 f. il. color.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Anápolis – Licenciatura em Química, 2025.

1. *Apis mellífera*. 2. Físico-químicos. 3. Palinologia. 4. Sustentabilidade. 5. Valor econômico.

I. Alves, Thiago Eduardo Pereira (orient.).

II. Título

CDD 664.16

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Matheus Rocha Piacenti CRB1/02992
IFG Campus Anápolis

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: NICOLAS SOARES ALMEIDA

Matrícula: 20221060020037

Título do Trabalho: ORIGEM BOTÂNICA E CONTROLE DE QUALIDADE BIO-FÍSICO-QUÍMICO DO MEL DO CERRADO

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico- científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis – GOIÁS, 23/02/2026



Documento assinado digitalmente
NICOLAS SOARES ALMEIDA
Data: 25/03/2026 16:33:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

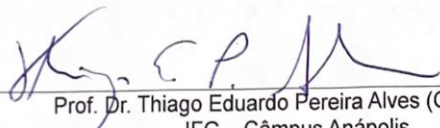
NICOLAS SOARES ALMEIDA

**ORIGEM BOTÂNICA E CONTROLE DE QUALIDADE BIO-FÍSICO-QUÍMICO
DO MEL DO CERRADO**

Trabalho de conclusão do Curso
apresentado ao Departamento de Química
do Instituto Federal de Goiás – IFG –
Câmpus Anápolis, como parte das
exigências do curso de Licenciatura em
Química para obtenção do título de
licenciando em Química.

Área de concentração: Físico-Química

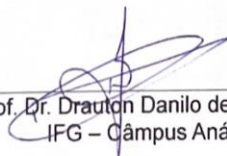
Aprovado em 23 de Fevereiro de 2026.



Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves (Orientador)
IFG – Câmpus Anápolis



Prof. Dra. Kellen Christina Malheiros Borges
IFG – Câmpus Anápolis



Prof. Dr. Draúton Danilo de Jesus Pinto
IFG – Câmpus Anápolis

Anápolis – GO
2025

Este trabalho, aos meus pais,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedidas durante esta caminhada.

À minha família, pelo incentivo constante, compreensão e apoio incondicional em todos os momentos.

Ao meu orientador(a), Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves, pela paciência, dedicação, confiança e pelas valiosas contribuições que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do curso de Licenciatura em Química, que, ao longo da graduação, compartilharam conhecimento e experiências fundamentais para a minha formação.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes nesta trajetória, tornando-a mais leve e enriquecedora.

Resumo

O presente projeto estudou as plantas que servem de alimento para as abelhas produtoras de mel na mesorregião de Anápolis, em Goiás. A proposta foi relacionar a origem botânica às propriedades físico-químicas dos méis regionais. Para isso, foi necessário aprender sobre botânica, palinologia e processos físico-químicos do mel regionais. Por isso, foi necessário aprender sobre botânica, palinologia e processos físico-químicos do mel. As atividades ocorreram em áreas da região dentro do raio de voo médio das abelhas. A pesquisa será feita em parceria com a Associação dos Apicultores de Anápolis o Senar e a Universidade Estadual de Goiás. Além disso, também foram realizados um mapeamento florístico para identificar as espécies da flora local. Foram coletadas exsicatas plantas sendo prensadas no papelão para serem armazenadas no herbário como também, grãos de pólen para identificação botânica. Foram coletados grãos de pólen para identificação botânica. As imagens desses grãos serão armazenadas num banco de dados palinológico representativo da região. A palinologia permitirá comparar o pólen do mel com o das flores disponíveis na mesorregião de Anápolis. Assim, será possível identificar quais plantas são realmente visitadas pelas abelhas. Os méis coletados passarão por análises físico-químicas de qualidade. Sendo avaliados cada parâmetro como acidez, pH, umidade, condutividade elétrica e Refração. Com isso, possibilitará verificar a conformidade legal dos méis detectando resíduos de contaminantes e fermentação. Houve um aumento na produção de mel em Goiás nos últimos anos. Apesar disso, representando uma pequena parcela da produção nacional. O trabalho possibilitou a compilação de informações sistematizadas sobre a origem botânica e a composição do mel. Favorecendo assim a certificação de origem e a rastreabilidade, agregando valor científico, econômico e sustentabilidade ambiental ao mel regional.

Palavra-chave: *Apis melífera*, físico-químicos, palinologia, sustentabilidade, valor econômico.

ABSTRACT

The present study investigated the plants that serve as food sources for honey-producing bees in the mesoregion of Anápolis, Goiás, Brazil. The main objective was to relate botanical origin to the physicochemical properties of regional honey samples. To achieve this, knowledge in botany, palynology, and the physicochemical processes of honey was applied. The activities were carried out in areas located within the average flight radius of honey bees.

The research was conducted in partnership with the Association of Beekeepers of Anápolis, the National Rural Learning Service (SENAR), and the State University of Goiás. A floristic survey was also performed to identify plant species from the local flora. Plant specimens were collected and prepared as herbarium vouchers (exsiccates), pressed in cardboard sheets and stored in a herbarium collection. In addition, pollen grains were collected for botanical identification. Images of these pollen grains will be stored in a palynological database representative of the region.

Palynological analysis allowed the comparison between pollen grains found in honey and those present in flowers available in the mesoregion of Anápolis, making it possible to identify which plant species are effectively visited by bees. The collected honey samples were subjected to physicochemical quality analyses, including acidity, pH, moisture content, electrical conductivity, and refractive index.

These analyses made it possible to evaluate the legal conformity of the honey samples and to detect potential contamination residues or fermentation processes. Honey production in the state of Goiás has increased in recent years; however, it still represents a small portion of national production. This study enabled the compilation of systematized information regarding the botanical origin and chemical composition of regional honey. Such information may support certification of origin and traceability, adding scientific, economic, and environmental value to honey produced in the region.

Keywords: *Apis mellifera*, physicochemical properties, palynology, sustainability, economic value.

Lista de Figuras

Figura 1 – A	46
Figura 2 – B.....	46
Figura 3 – C	46
Figura 4 – D	46
Figura 5 – E.....	46
Figura 6 – F.....	46
Figura 7 – G.....	48
Figura 8 – H	48
Figura 9 – I.....	48
Figura 10 – J	50
Figura 11 – K.....	50
Figura 12 – L.....	50
Figura 13 – Amorinha 1.....	52
Figura 14 – Açaizinho 2	52
Figura 15 – Amendoinha 3.....	52
Figura 16 – Araçazinho 4	52
Figura 17 – Acerolinha 5.....	52
Figura 18 – Ameixinha 1	53
Figura 19 – Abacaxizinho 2.....	53
Figura 20 – Amendoinzinho 3	53
Figura 21 – Ananazinho 4	53
Figura 22 – Abacatizinho 5	53
Figura 23 – Acide 1	55
Figura 24 – Acide 2.....	55
Figura 25 – Acide 3.....	55
Figura 26 – Acide 4.....	55
Figura 27 – Cond 1	56
Figura 28 – Peg 1.....	57
Figura 29 – Peg 2	57

Figura 30 – Siné 1.....	59
Figura 31 – Chapadin 2.....	59
Figura 32 – Neiad 3.....	59
Figura 33 – Od 4	59
Figura 34 – Am 5.....	59
Figura 35 – Chape.....	61
Figura 36 – Murf	61
Figura 37 – Vid.....	61
Figura 38 – Poti	61
Figura 39 – Faba	64
Figura 40 – Myrt	64
Figura 41 – Aster	64
Figura 42 – Came	65
Figura 43 – Arvore Santo	65
Figura 44 – Pincel	65
Figura 45 – Gráfico pH.....	66
Figura 46 – Gráfico acidez	67
Figura 47 – Gráfico teor de cinzas	68
Figura 48 – Gráfico condutividade	69
Figura 49 – Gráfico refração	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Apicultura brasileira, sustentabilidade e inserção no cerrado	13
2.2 Papel das abelhas na polinização e na estruturação da origem botânica	15
2.3 Flora apícola do cerrado e potencial melífero.....	17
2.4 Melissopalínologia e determinação da origem botânica.....	18
2.5 Controle biofísico-químico e rastreabilidade	20
2.6 Composição bioquímica do néctar e sua relação com a origem botânica	22
2.7 Integração entre origem botânica, parâmetros físico-químicos e rastreabilidade do Mel.....	24
2.8 Parâmetros físico-químicos aprofundados	26
2.8.1 Umidade e estabilidade microbiológica	28
2.8.2 pH e acidez livre	31
2.8.3 Condutividade elétrica e minerais	34
2.9 Variabilidade ambiental, qualidade do mel e perspectivas de certificação no cerrado goiano	35
3. OBJETIVOS.....	37
3.1 Objetivos gerais.....	37
3.1.1 Analisar as espécies botânicas fornecedoras de néctar e pólen e relacionar sua origem aos parâmetros físico-químicos do mel na mesorregião de objetivos específicos	37
4. METODOLOGIA	Erro! Indicador não definido.
4.1 Tipo e delineamento da pesquisa	38
4.2 Área de estudo	39
4.3 Critério de escolha dos apiários	39
4.4 Período de coleta	39
4.5 Levantamento florístico	40
4.6 Coleta e conservação do material botânico.....	40
4.7 Análises melissopalínológica.....	40
4.8 Análises físico-químicas.....	41

4.9 Tratamento estatísticas	42
4.10 Coleta dos botões florais e amostras de méis	42
4.11 Acetólise dos méis dos produtores	46
4.12 Acetólise dos botões florais	48
4.13 Microscópia	50
4.13.1 Pólens do mel.....	51
4.13.2 Pólens das plantas.....	52
5. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS PÓLESN E MÉIS.....	53
5.1 Análise do teor de acidez no mel	54
5.2 Condutividade do mel	55
5.3 Análise de pH dos méis	56
5.4 Medição de refração das amostras de méis	57
5.5 Análise de teor de cinzas.....	60
6. RESULTADOS E DISCUSOÕES	61
6.1 Caracterização da flora apícola identificada nos méis	63
6.2 Plantas semelham a famílias	64
6.3 Gráfico de pH dos méis.....	65
6.4 Gráfico de acidez.....	66
6.5 Teor de cinzas nas amostras de mel	67
6.6 Condutividade elétrica das amostras de mel (m/S/cm).....	68
6.7 Análise de refração das amostras de mel	69
7. CONCLUSÃO.....	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

A determinação da origem botânica do mel constitui etapa essencial para a compreensão de suas propriedades físico-químicas e funcionais, uma vez que a composição do produto está intrinsecamente relacionada às espécies vegetais exploradas pelas abelhas. Camargo (2021) demonstra que a melissopalínologia possibilita correlacionar os grãos de pólen presentes no mel com a vegetação predominante da região produtora, configurando-se como instrumento relevante para rastreabilidade e garantia de qualidade. Já Louveaux, Maurizio e Vorwohl (1978) consolidaram a análise polínica como método internacionalmente padronizado para caracterização da origem floral, reforçando sua legitimidade científica em estudos comparativos. Sob essa mesma perspectiva, Barth (2004) amplia a compreensão ao afirmar que a composição polínica não apenas indica a fonte botânica predominante, mas também reflete a diversidade florística visitada pelas abelhas, permitindo interpretações de natureza ecológica.

Apesar desse consenso quanto à relevância da melissopalínologia, Silva et al. (2016) problematizam a centralidade exclusiva dessa abordagem ao argumentarem que a caracterização polínica, quando analisada isoladamente, não é suficiente para explicar as propriedades físico-químicas do mel. Segundo esses autores, a integração com parâmetros analíticos complementares é indispensável para interpretações mais robustas. Essa contraposição teórica evidencia uma lacuna recorrente: embora a origem floral seja amplamente investigada, ainda há carência de estudos que estabeleçam correlação sistemática entre composição botânica e variáveis físico-químicas. É nesse ponto que se insere o presente trabalho, ao propor a articulação entre perfis polínicos identificados na mesorregião de Anápolis e os parâmetros físico-químicos determinados experimentalmente, superando a fragmentação metodológica observada na literatura.

Ao deslocar o foco exclusivamente botânico para a dimensão composicional, torna-se necessário reconhecer que a qualidade do mel resulta de múltiplas influências. Bogdanov et al. (1999) salientam que parâmetros como umidade, acidez livre, pH e refração são fundamentais para avaliação da estabilidade e conservação do produto. Esses indicadores, além de possuírem respaldo científico consolidado, encontram-se regulamentados pela legislação brasileira, o que lhes confere relevância sanitária e comercial. Contudo, a interpretação desses parâmetros não deve limitar-se ao cumprimento normativo. Vieira et al. (2023) argumentam que tais variáveis

podem refletir particularidades da origem floral, sobretudo em méis com predominância de determinada espécie vegetal, nos quais se observam variações características na acidez e no equilíbrio de açúcares.

Em contraposição a uma leitura exclusivamente floral dos resultados, estudos demonstram que condições de manejo pós-colheita e armazenamento exercem influência significativa sobre determinadas características físico-químicas do mel. Terrab et al. (2003) observaram que fatores como tempo e temperatura de armazenamento podem alterar parâmetros como pH, acidez e refração. De forma complementar, Azeredo et al. (2003) destacam que o processamento e as condições de estocagem influenciam propriedades físico-químicas e qualidade do produto, reforçando que variações analíticas nem sempre decorrem exclusivamente da origem botânica.

Essa ponderação é relevante porque impede simplificações interpretativas e reforça a necessidade de análises contextualizadas. Assim, a compreensão adequada dos dados exige abordagem multifatorial, capaz de distinguir variações decorrentes da composição botânica daquelas associadas a fatores ambientais e tecnológicos. Nesse sentido, ao analisar conjuntamente os parâmetros físico-químicos determinados e a composição polínica das amostras estudadas, esta pesquisa contribui para preencher a lacuna identificada, oferecendo interpretação integrada fundamentada em evidências regionais.

Além dos aspectos analíticos, a composição do mel também está condicionada à dinâmica ecológica que antecede sua formação. O comportamento de forrageamento desempenha papel determinante na predominância floral observada no produto. Seeley (1995) descreve que *Apis mellifera* tende a concentrar a coleta em fontes com maior retorno energético, o que favorece determinadas espécies vegetais em detrimento de outras. Estudos conduzidos por Beekman e Ratnieks (2000) demonstram que essa seleção não é aleatória, mas resultado de processos decisórios coletivos que ocorrem no interior da colmeia, influenciando diretamente o perfil polínico do mel.

A relação entre paisagem e composição do mel também é explorada por Steffan-Dewenter e Kuhn (2003), que evidenciam como a diversidade vegetal do entorno impacta tanto a variedade polínica quanto características composicionais do produto. Entretanto, Roubik (1989) ressalta que padrões gerais podem ser modificados por fatores regionais específicos, como sazonalidade e disponibilidade

temporal de flores, indicando que extrapolações amplas nem sempre refletem realidades locais. Essa discussão demonstra que a composição do mel resulta de uma interação complexa entre ambiente, comportamento das abelhas e oferta floral.

Considerando esse cenário, a análise das amostras provenientes da mesorregião de Anápolis adquire relevância científica, pois possibilita avaliar como as características da paisagem regional influenciam a composição polínica e os parâmetros físico-químicos observados. Ao incorporar dados empíricos locais a um debate consolidado na literatura internacional, o estudo amplia o entendimento sobre a dinâmica entre vegetação e produção apícola em contexto específico, evitando generalizações inadequadas.

De modo geral, embora existam avanços expressivos na caracterização isolada da origem botânica ou dos aspectos físico-químicos do mel, ainda predomina em parte da literatura uma abordagem segmentada. Estudos metodológicos demonstram que a integração entre análises físico-químicas, perfil polínico e ferramentas estatísticas multivariadas constitui condição essencial para uma compreensão mais consistente da qualidade e autenticidade do produto (ANJOS et al., 2015; TRUZZI et al., 2023).

De forma complementar, investigações regionais são consideradas indispensáveis para revelar particularidades associadas à flora e às condições ambientais locais, uma vez que padrões estabelecidos em outras regiões podem não se aplicar integralmente a contextos distintos (BARTH, 2005; BOGDANOV et al., 2008). Assim, a construção de bases de dados regionais fortalece tanto a caracterização científica quanto estratégias futuras de valorização territorial do mel.

Diante disso, ao articular identificação melissopalínológica, análises físico-químicas padronizadas e interpretação ecológica regional — restritas às variáveis efetivamente determinadas nesta pesquisa — o presente trabalho ultrapassa a simples descrição de resultados e propõe uma abordagem interpretativa fundamentada na integração de evidências. A principal contribuição científica reside, portanto, na consolidação de um modelo analítico interdisciplinar aplicado à realidade da mesorregião de Anápolis, respondendo à lacuna apontada na literatura quanto à correlação sistemática entre composição polínica e parâmetros analíticos em contexto regional específico e reforçando a importância de metodologias integradas para o avanço da pesquisa apícola.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A apicultura brasileira tem conquistado cada vez mais espaço nos mercados nacional e internacional, em função da ampla diversidade de méis produzidos no país e da adoção de práticas inovadoras de manejo. Esse avanço tem favorecido o aumento da competitividade do mel brasileiro, especialmente no comércio externo, consolidando a atividade como um segmento relevante do agronegócio nacional (ABEMEL, 2024; IBGE, 2023). Essa nova perspectiva, denominada apicultura sustentável e tecnológica, alinha o conhecimento tradicional dos apicultores ao uso de ferramentas digitais, à pesquisa científica e aos processos de certificação de origem. No Cerrado, um dos maiores biomas do Brasil, essa prática assume relevância ainda maior, pois contribui simultaneamente para a conservação da biodiversidade, a geração de renda e a valorização de produtos diferenciados.

As abelhas são reconhecidas como polinizadoras essenciais para os ecossistemas e desempenham papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na produção de alimentos. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura destaca que a sobrevivência de inúmeros cultivos agrícolas depende diretamente da polinização realizada por insetos, especialmente abelhas (FAO, 2019). No Cerrado, a importância das abelhas vai além da produção de mel, pois elas contribuem para a reprodução de espécies nativas e frutíferas, além de favorecer a produtividade agrícola regional (EMBRAPA, 2023).

A flora apícola do Cerrado é composta por um vasto conjunto de espécies que fornecem néctar e pólen às abelhas. Estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária apontam o potencial apícola de diversas espécies nativas do bioma, evidenciando a importância da vegetação do Cerrado para a produção de mel e para a manutenção da atividade apícola regional (EMBRAPA, 2023). O mapeamento florístico e a identificação das espécies polínicas são fundamentais para o manejo racional das colmeias, pois permitem associar a origem botânica à qualidade e à identidade do produto.

A análise polínica, também denominada melissopalínologia, é considerada uma das principais ferramentas para determinar a origem botânica do mel. Barth (2005) ressaltava que a identificação dos grãos de pólen presentes no mel possibilita reconhecer as espécies florais utilizadas pelas abelhas, permitindo classificar o produto como monofloral ou multifloral. No Cerrado, a diversidade polínica é marcante,

o que favorece a valorização do mel em mercados diferenciados, especialmente quando associada a processos de certificação e denominação de origem.

O controle de qualidade físico-químico do mel é regido por normas nacionais e internacionais. A Association of Official Analytical Chemists estabelece métodos oficiais de análise utilizados mundialmente para avaliação da composição de alimentos, incluindo o mel (AOAC, 2016). No Brasil, o Ministério da Agricultura e Pecuária define critérios obrigatórios para a comercialização do produto, assegurando sua conformidade com padrões de identidade e qualidade (MAPA, 2023). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária também tem contribuído com estudos sobre a caracterização e padronização dos méis brasileiros, reforçando a importância das análises laboratoriais aplicadas ao setor (EMBRAPA, 2023).

A composição físico-química do mel sofre influência direta de fatores ambientais, como clima, altitude, tipo de solo e período de floração. Pesquisas conduzidas por instituições de pesquisa nacionais demonstram que essas variáveis interferem em propriedades como viscosidade, pH, umidade e teor de açúcares, conferindo singularidade ao mel produzido em diferentes regiões do país (EMBRAPA, 2023). Essa variabilidade é responsável pela diversidade de aromas, sabores e propriedades funcionais do produto.

Do ponto de vista socioeconômico, a apicultura sustentável no Cerrado representa uma estratégia relevante para pequenos produtores e agricultores familiares. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indicam crescimento na produção de mel na região Centro-Oeste, com destaque para estados como Goiás, impulsionando a geração de renda no meio rural (IBGE, 2023). Esse aumento está associado à adoção de boas práticas de manejo e à busca por certificações de qualidade e rastreabilidade.

Dessa forma, o mel do Cerrado deve ser compreendido como um produto que reflete a biodiversidade regional, o manejo sustentável e o uso de tecnologias de certificação e controle de qualidade. Sua valorização depende da análise da origem botânica, da caracterização físico-química e da adoção de práticas sustentáveis de produção. A integração entre ciência, inovação e conservação fortalece a apicultura brasileira, contribuindo para a preservação ambiental, a geração de renda e a segurança alimentar.

2.1 Apicultura brasileira, sustentabilidade e inserção no cerrado

A apicultura brasileira tem assumido posição estratégica no agronegócio nacional, impulsionada pela ampla diversidade florística do território e pelo aprimoramento das práticas de manejo. O país destaca-se no cenário internacional pela produção de méis com características diferenciadas, associadas à riqueza botânica de seus biomas e à adoção de boas práticas de produção e controle de qualidade (SOUZA et al., 2019; CAMARGO; PEREIRA; LOPES, 2002). Esse crescimento tem favorecido a inserção do mel brasileiro em mercados externos, onde a rastreabilidade e a autenticidade do produto são fatores cada vez mais valorizados.

Nesse contexto, a apicultura contemporânea tem incorporado princípios associados à sustentabilidade e à inovação tecnológica, integrando conhecimento tradicional dos apicultores a abordagens científicas voltadas à qualidade, à rastreabilidade e à certificação de origem. Segundo Kevan e Phillips (2001), a produção apícola sustentável depende da interação equilibrada entre manejo adequado, conservação ambiental e valorização dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelas abelhas, especialmente a polinização.

O bioma Cerrado desempenha papel fundamental nesse cenário, sendo reconhecido como uma das regiões de maior biodiversidade vegetal do planeta. Estudos florísticos demonstram que o Cerrado apresenta elevada heterogeneidade de espécies, formando um mosaico de fitofisionomias que influenciam diretamente a disponibilidade de recursos tróficos para as abelhas (KLINK; MACHADO, 2005). Essa diversidade de plantas nectaríferas e poliníferas contribui para a formação de méis com características químicas e sensoriais distintas, refletindo a composição florística regional.

A composição do mel é fortemente influenciada pela origem botânica e pelas condições ambientais do local de produção. De acordo com da Silva et al. (2016), fatores como espécie vegetal predominante, condições climáticas e características do solo exercem influência direta sobre parâmetros físico-químicos do mel, incluindo teor de umidade, acidez, pH e composição de açúcares. Essas variáveis conferem identidade ao produto e são amplamente utilizadas em estudos de caracterização e autenticação.

Além disso, pesquisas conduzidas por Escuredo et al. (2014) demonstram que parâmetros como condutividade elétrica, teor mineral e composição de açúcares apresentam forte relação com a origem floral do mel, sendo considerados indicadores

relevantes na diferenciação de méis provenientes de diferentes espécies vegetais. Dessa forma, a caracterização físico-química constitui etapa fundamental para a avaliação da qualidade e da autenticidade do produto apícola.

No campo da autenticação botânica do mel, a análise melissopalínológica permanece como uma das principais ferramentas científicas utilizadas para identificar a origem floral do produto. Segundo Jones e Bryant (2014), a identificação e quantificação dos grãos de pólen presentes no mel permitem inferir as principais fontes vegetais visitadas pelas abelhas, contribuindo para a classificação de méis monoflorais ou multiflorais e para a verificação de sua autenticidade.

Entretanto, em regiões caracterizadas por elevada diversidade florística, como o Cerrado brasileiro, a interpretação isolada dos dados polínicos pode apresentar limitações, uma vez que diferentes espécies vegetais podem contribuir simultaneamente para a composição do mel. Nesses casos, a integração entre análises melissopalínológicas e parâmetros físico-químicos torna-se uma abordagem mais robusta para a determinação da origem botânica (ANJOS et al., 2015).

Estudos anteriores têm demonstrado que a aplicação de métodos estatísticos multivariados, associada à caracterização físico-química e polínica do mel, possibilita identificar padrões relacionados à origem geográfica e floral do produto, ampliando a confiabilidade dos processos de autenticação e classificação (BERTELLI et al., 2010). Essas abordagens têm sido amplamente utilizadas em pesquisas voltadas à valorização de méis regionais e à proteção de denominações de origem.

Nesse contexto, a caracterização integrada do mel produzido em regiões específicas do Cerrado representa uma estratégia relevante para fortalecer a apicultura regional, agregando valor ao produto e contribuindo para a conservação da biodiversidade local. A associação entre diversidade florística, análise polínica e parâmetros físico-químicos possibilita compreender de forma mais abrangente a identidade dos méis produzidos, favorecendo sua inserção em mercados que demandam produtos diferenciados e de origem comprovada.

Assim, o presente estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento sobre a relação entre biodiversidade vegetal e composição do mel no Cerrado brasileiro, reforçando a importância de abordagens analíticas integradas para a caracterização da origem botânica e para o fortalecimento da apicultura sustentável na região.

2.2 Papel das abelhas na polinização e na estruturação da origem botânica

As abelhas desempenham função ecológica central na manutenção da biodiversidade e na estabilidade dos sistemas agroalimentares. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) destaca que aproximadamente 75% das culturas agrícolas destinadas à alimentação humana dependem, em algum grau, da polinização animal (FAO, 2023). De forma complementar, o relatório mais recente da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos reforça que a diversidade de polinizadores está diretamente associada à produtividade agrícola, à qualidade dos frutos e à resiliência dos sistemas produtivos (IPBES, 2023).

No contexto do bioma Cerrado, reconhecido como hotspot global de biodiversidade (MYERS et al., 2000), a interação entre abelhas e flora nativa assume papel estruturante na dinâmica ecológica regional. Estudos pouco recentes demonstram que a diversidade florística influencia a disponibilidade de recursos tróficos para abelhas, impactando padrões de coleta de néctar e pólen e refletindo-se na composição físico-química e polínica do mel (TRUZZI et al., 2023; DA SILVA et al., 2016).

Do ponto de vista biológico, o néctar constitui a principal fonte de carboidratos para as abelhas, sendo composto majoritariamente por sacarose, glicose e frutose, enquanto o pólen fornece proteínas, lipídios, vitaminas e minerais essenciais ao desenvolvimento das colônias (NICOLSON; NEPI; PACINI, 2007; BRODSCHNEIDER; CRAILSHEIM, 2010). A literatura científica demonstra que a variabilidade florística e as condições ambientais influenciam diretamente a composição química do néctar e dos recursos disponíveis às abelhas. Consequentemente, a variação da origem botânica reflete-se diretamente no perfil de açúcares, nos compostos fenólicos e em diversos parâmetros físico-químicos do mel produzido em diferentes regiões geográficas. Estudos internacionais demonstram que a composição de frutose, glicose, sacarose e oligossacarídeos está intimamente associada à espécie vegetal predominante, influenciando também características como acidez, condutividade elétrica e atividade antioxidante (Stefan Bogdanov, 2009; Lucia Piana et al., 2004).

Além disso, pesquisas recentes indicam que compostos bioativos, especialmente fenólicos e flavonoides, variam significativamente conforme a origem

floral e a região de coleta, contribuindo para a diferenciação química e funcional dos méis (Stefania Soares et al., 2017; Michela Truzzi et al., 2023).

Dessa forma, a origem botânica constitui fator essencial na determinação da qualidade, autenticidade e identidade territorial do mel, sendo elemento-chave para sua valorização comercial e certificação de procedência.

Consequentemente, a variação da origem botânica reflete-se diretamente no perfil de açúcares, nos compostos fenólicos e em diversos parâmetros físico-químicos do mel produzido em diferentes regiões geográficas. Estudos demonstram que a composição de frutose, glicose e oligossacarídeos varia significativamente conforme a espécie vegetal predominante, influenciando propriedades como condutividade elétrica, teor mineral e acidez (Isabel Castro-Vázquez et al., 2014).

Além disso, a caracterização do perfil fenólico tem sido amplamente utilizada como ferramenta para discriminação botânica e geográfica, evidenciando correlação direta entre compostos bioativos e identidade territorial do mel (Aleksandra Oroian; Simona Ropciuc, 2017).

A aplicação de técnicas cromatográficas e espectrométricas associadas à análise quimiométrica tem demonstrado elevada eficiência na autenticação da origem floral, permitindo distinguir méis monoflorais e multiflorais com maior precisão (Paola Vit et al., 2018).

Adicionalmente, estudos recentes ressaltam que a diversidade floral influencia diretamente a concentração de flavonoides e compostos fenólicos minoritários, os quais atuam como marcadores químicos robustos para diferenciação de origem (Vassya Bankova, 2005; Juan Carlos Pérez-Arquillué et al., 2018).

Dessa forma, a origem botânica constitui fator determinante da qualidade, autenticidade e identidade territorial do mel, sendo elemento essencial para sua valorização comercial e certificação de procedência em mercados internacionais.

Ao relacionar esses fundamentos ecológicos com a realidade do Cerrado goiano, observa-se que a diversidade floral regional pode impactar tanto o perfil polínico quanto parâmetros físico-químicos como pH, acidez titulável, condutividade elétrica, teor de açúcares redutores e compostos bioativos. Estudos internacionais demonstram que variações na flora influenciam diretamente o perfil mineral e a composição de açúcares do mel, constituindo importantes indicadores de origem botânica e geográfica (KUS et al., 2014; SILICI; KARAMAN, 2014).

Ademais, a caracterização integrada de parâmetros físico-químicos e análise

estatística multivariada tem sido amplamente utilizada para diferenciar méis quanto à sua procedência e conformidade com padrões internacionais de qualidade (PONTES et al., 2017; RUIZ-MATUTE et al., 2010).

A associação entre diversidade vegetal, composição química e autenticação analítica reforça a importância da biodiversidade regional como elemento determinante da identidade territorial do mel (TUBEROSO et al., 2011). Dessa forma, a integração entre conservação ambiental e caracterização científica do mel do Cerrado apresenta relevância tanto ecológica quanto econômica.

2.3 Flora apícola do cerrado e potencial melífero

A diversidade da flora apícola constitui um dos principais fatores que determinam a disponibilidade de recursos alimentares para as abelhas, especialmente néctar e pólen, elementos essenciais para a manutenção das colônias e para a produção de mel. A literatura científica demonstra que a disponibilidade e a diversidade desses recursos estão diretamente associadas à composição da vegetação presente na paisagem, influenciando os padrões de forrageamento das abelhas e a dinâmica de exploração floral (WINFREE; AGUILAR; VÁZQUEZ, 2009; GARIBALDI et al., 2013).

Em ecossistemas tropicais, como o bioma Cerrado, a elevada diversidade florística contribui para a oferta relativamente contínua de recursos ao longo do ano, favorecendo a atividade de coleta pelas abelhas e contribuindo para a estabilidade das colônias. A heterogeneidade ambiental característica desse bioma proporciona a coexistência de diferentes formações vegetais, ampliando a diversidade de espécies produtoras de néctar e pólen disponíveis para os polinizadores (KLINK; MACHADO, 2005; STRASSBURG et al., 2017).

A composição da flora visitada pelas abelhas exerce influência direta sobre a origem botânica do mel, determinando a presença de diferentes tipos polínicos e contribuindo para a caracterização do produto quanto à sua identidade floral. A análise melissopalínológica é amplamente utilizada para determinar a origem botânica do mel, uma vez que possibilita identificar os grãos de pólen presentes e relacioná-los às fontes florais exploradas pelas abelhas (LOUVEAUX; MAURIZIO; VORWOHL, 1978).

Além da identificação da origem floral, diferentes espécies vegetais produzem néctares com características químicas próprias, resultando em variações na

composição do mel produzido. Estudos demonstram que a origem botânica influencia parâmetros como a proporção de açúcares, o teor de minerais, a presença de compostos fenólicos e as propriedades antioxidantes do mel, características que contribuem para a identidade química e sensorial desse produto natural (DA SILVA et al., 2016; ESCRICHE; JUAN-BORRÁS, 2014).

No bioma Cerrado, a heterogeneidade fitofisionômica favorece a ocorrência de numerosas espécies com potencial apícola, incluindo plantas arbóreas, arbustivas e herbáceas que fornecem recursos essenciais para as abelhas ao longo das diferentes estações do ano. A diversidade florística desse bioma tem sido amplamente reconhecida como um fator determinante para a produção de méis multiflorais com características químicas particulares, refletindo a variedade de fontes vegetais exploradas pelas abelhas (RIBEIRO; WALTER, 2008; GIANNINI et al., 2017).

Entretanto, a simples presença de espécies melíferas na paisagem não garante a disponibilidade contínua de recursos para os polinizadores. A fenologia das plantas, especialmente os períodos de floração, desempenha papel fundamental na dinâmica temporal da oferta de néctar e pólen. Pesquisas em ecologia vegetal demonstram que a distribuição sazonal das florações influencia diretamente os padrões de visitação das abelhas e pode determinar períodos de abundância ou escassez alimentar para as colônias (MORELLATO et al., 2010; FORREST; THOMSON, 2011).

Nesse contexto, o conhecimento da flora apícola local associado ao estudo da fenologia das espécies vegetais permite compreender de forma mais precisa a dinâmica dos recursos disponíveis para as abelhas e contribui para o planejamento racional da atividade apícola. Além disso, essas informações auxiliam na interpretação das variações observadas na composição polínica e nos parâmetros físico-químicos do mel, considerando que a origem botânica constitui um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade natural desse produto (DA SILVA et al., 2016).

2.4 Melissopalínologia e determinação da origem botânica

A determinação da origem botânica do mel constitui um dos principais desafios na caracterização científica desse produto, uma vez que sua composição resulta da interação entre a atividade de forrageamento das abelhas e a diversidade florística da paisagem. Nesse contexto, a melissopalínologia — ciência dedicada à análise de grãos de pólen presentes em produtos apícolas — tem sido amplamente utilizada para

identificar as fontes vegetais exploradas pelas abelhas durante a coleta de néctar, sendo considerada uma das principais ferramentas para a determinação da origem floral do mel (BRYANT; JONES, 2001; LOUVEAUX; MAURIZIO; VORWOHL, 1978).

A análise polínica permite identificar e quantificar os diferentes tipos de pólen presentes no mel, fornecendo informações relevantes sobre a composição da flora visitada pelas abelhas e possibilitando inferir a origem floral predominante do produto. Essa abordagem tem sido amplamente aplicada em estudos de autenticação botânica de méis, contribuindo para a classificação de produtos monoflorais e multiflorais e para o reconhecimento da identidade botânica do mel produzido em diferentes regiões (PERSANO ODDO; BOGDANOV, 2004; VON DER OHE et al., 2004).

No entanto, diversos estudos ressaltam que a interpretação dos espectros polínicos deve considerar limitações metodológicas importantes, uma vez que algumas espécies vegetais produzem maior quantidade de pólen ou apresentam maior capacidade de dispersão, o que pode influenciar sua representação nas amostras de mel. Dessa forma, a presença predominante de determinado tipo polínico nem sempre corresponde diretamente à principal fonte de néctar utilizada pelas abelhas, sendo necessária uma análise criteriosa dos dados palinológicos (BRYANT; JONES, 2001; BRYANT, 2017; VON DER OHE et al., 2004).

Diante dessas limitações, pesquisas recentes têm recomendado a utilização de abordagens integradas que associem dados melissopalínológicos a análises físico-químicas e técnicas estatísticas multivariadas para aumentar a confiabilidade da determinação da origem botânica e geográfica do mel. Estudos demonstram que a combinação entre análise polínica, perfil de açúcares, composição mineral e parâmetros como pH, acidez e condutividade elétrica permite diferenciar com maior precisão méis provenientes de distintas regiões florísticas (ESCUREDO et al., 2013; KARABAGIAS et al., 2017).

Além disso, técnicas analíticas modernas, como cromatografia e espectrometria associadas a métodos quimiométricos, têm sido cada vez mais empregadas para complementar os estudos de origem botânica do mel. Essas ferramentas possibilitam identificar padrões químicos característicos associados a determinadas espécies vegetais ou regiões geográficas, contribuindo para a autenticação e rastreabilidade do produto em mercados internacionais (CASTRO-VÁZQUEZ et al., 2014; TRUZZI et al., 2018; KARABAGIAS et al., 2017).

No contexto brasileiro, a aplicação da melissopalínologia associada à

caracterização físico-química apresenta grande potencial para a valorização dos méis produzidos em biomas de elevada diversidade florística, como o Cerrado. A identificação das espécies vegetais utilizadas pelas abelhas permite compreender melhor as relações entre flora regional e composição do mel, fornecendo subsídios científicos para certificação de origem e agregação de valor ao produto (SODRÉ et al., 2008).

Dessa forma, a integração entre análise polínica, caracterização físico-química e tratamento estatístico constitui abordagem robusta para a determinação da origem botânica do mel. Considerando a elevada diversidade vegetal do Cerrado e a complexidade dos perfis polínicos observados em méis multiflorais, essa abordagem integrada torna-se especialmente relevante para a caracterização científica e a rastreabilidade do mel produzido na região de Anápolis, conforme discutido em estudos recentes que destacam a importância da padronização metodológica e da integração de técnicas analíticas na autenticação de méis (VON DER OHE et al., 2004; KARABAGIAS et al., 2017).

2.5 Controle biofísico-químico e rastreabilidade

O controle de qualidade do mel é regulamentado por normas nacionais e internacionais que estabelecem critérios analíticos destinados a garantir a identidade, a segurança e a padronização desse produto. A AOAC International estabelece métodos oficiais amplamente utilizados para a determinação de parâmetros físico-químicos, como acidez, pH, açúcares redutores e sacarose, por meio do compêndio Official Methods of Analysis (AOAC, 2016). No Brasil, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) define critérios obrigatórios para identidade e qualidade do mel destinado à comercialização, conforme estabelecido pela Instrução Normativa nº 11/2000 e suas atualizações, que determinam limites para diversos parâmetros físico-químicos e asseguram a padronização do produto no mercado nacional.

Embora esses critérios normativos sejam fundamentais para garantir a qualidade e a conformidade do mel comercializado, a interpretação dos parâmetros físico-químicos não deve restringir-se apenas ao atendimento de limites legais. Estudos científicos demonstram que características como pH, acidez livre, teor de umidade e composição de açúcares são influenciadas diretamente pela origem botânica do néctar, pelas condições ambientais e pelas práticas de manejo apícola,

refletindo a interação entre fatores ecológicos e processos bioquímicos envolvidos na formação do produto final (MARCHINI; MORETI; OTSUK, 2005).

Nesse contexto, pesquisas contemporâneas têm ampliado o uso de parâmetros físico-químicos como ferramentas para estudos de autenticidade e rastreabilidade do mel. Investigações recentes indicam que variações no perfil de carboidratos, nos teores de compostos fenólicos e na composição mineral podem atuar como marcadores úteis para diferenciar méis provenientes de distintas origens florais e regiões geográficas, permitindo maior precisão na caracterização do produto (RAWEH et al., 2023).

Avanços metodológicos recentes também destacam a aplicação de abordagens analíticas integradas para o estudo da qualidade do mel. Trabalhos publicados nos últimos anos têm utilizado técnicas estatísticas e quimiométricas associadas à caracterização físico-química para identificar padrões que auxiliam na autenticação e na detecção de adulterações em diferentes tipos de mel, demonstrando a relevância dessas ferramentas para o controle de qualidade e a rastreabilidade do produto na cadeia produtiva (ABDI et al., 2024; INSHA et al., 2024).

Além disso, estudos recentes enfatizam que a integração entre parâmetros físico-químicos clássicos e novas abordagens analíticas, incluindo modelagens estatísticas e análise multivariada, representa uma estratégia promissora para o fortalecimento dos sistemas de garantia de qualidade do mel. Essas metodologias permitem explorar conjuntos complexos de dados químicos e identificar padrões associados à autenticidade e à origem do produto, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas mais robustos de monitoramento da qualidade em nível internacional (MOHAMADZADE NAMIN; GHOSH; JUNG, 2023).

Apesar desses avanços científicos, ainda são relativamente escassos os estudos regionais que integrem simultaneamente parâmetros físico-químicos, rastreabilidade botânica e contexto ecológico em escala local, especialmente em regiões de elevada diversidade florística como o Cerrado brasileiro. Nesse sentido, investigações direcionadas a contextos geográficos específicos tornam-se fundamentais para compreender as relações entre flora regional, características químicas do mel e padrões de qualidade, fornecendo subsídios científicos para valorização e certificação de origem do produto. Essa lacuna justifica a relevância do presente estudo, que busca correlacionar parâmetros de qualidade físico-química e origem botânica do mel produzido no município de Anápolis, Goiás.

2.6 Composição bioquímica do néctar e sua relação com a origem botânica

O néctar constitui uma solução aquosa complexa produzida pelas glândulas nectaríferas das plantas e representa a principal recompensa oferecida aos polinizadores durante as interações planta-animal. Sua composição é dominada por açúcares — principalmente sacarose, glicose e frutose — que fornecem a principal fonte energética para insetos e outros visitantes florais. Contudo, o néctar também contém diversos compostos minoritários, incluindo aminoácidos, íons minerais, compostos fenólicos e metabólitos secundários, cuja concentração e composição variam amplamente entre espécies vegetais e condições ambientais (MOHAMADZADE NAMIN; GHOSH; JUNG, 2023). Essas variações refletem adaptações ecológicas associadas às estratégias de polinização e podem influenciar significativamente o comportamento de forrageamento dos polinizadores.

Estudos recentes demonstram que os componentes não açucarados do néctar desempenham funções ecológicas importantes, atuando na modulação das interações entre plantas e polinizadores. Compostos como aminoácidos, alcaloides e fenólicos podem alterar a atratividade do néctar, influenciar a preferência alimentar dos polinizadores e até mesmo afetar processos fisiológicos associados à aprendizagem e à memória em insetos (GÖTTLINGER; LOHAUS, 2022; ESCUREDO et al., 2019). Além disso, a composição química do néctar pode variar em resposta a fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, microbiota associada às flores e frequência de visitas por polinizadores, refletindo a natureza dinâmica desse recurso floral.

No contexto da produção de mel, a composição química inicial do néctar exerce influência direta sobre as características físico-químicas e bioativas do produto final. Durante a coleta, as abelhas transportam o néctar para a colmeia, onde ocorre um processo fisiológico e bioquímico complexo que envolve tanto a desidratação progressiva do líquido quanto a incorporação de enzimas provenientes das glândulas hipofaríngeas das operárias. Estudos clássicos de fisiologia das abelhas descrevem que esse processo inclui intensa ventilação da colmeia e transformações enzimáticas que modificam profundamente o perfil químico do néctar (CRANE, 1983; WINSTON, 1987; SEELEY, 1995).

Entre as transformações bioquímicas mais relevantes destaca-se a hidrólise da

sacarose catalisada pela enzima invertase (β -frutofuranosidase), responsável pela conversão desse dissacarídeo em glicose e frutose, açúcares predominantes no mel maduro. Investigações clássicas sobre a bioquímica do mel demonstram que a atividade dessas enzimas varia conforme o estágio de maturação do produto dentro da colmeia, resultando em diferenças significativas entre o néctar recém-coletado e o mel completamente maturado (WHITE, 1975; DONER, 1977; WHITE, 1978).

Além da modificação do perfil de açúcares, o mel também incorpora compostos bioativos derivados tanto do metabolismo das abelhas quanto da origem botânica do néctar. Nesse contexto, compostos fenólicos e flavonoides presentes nas plantas desempenham papel relevante na atividade antioxidante e antimicrobiana do mel, contribuindo para suas propriedades funcionais. Diversos estudos indicam que a concentração desses compostos varia significativamente entre méis de diferentes origens florais, evidenciando a forte influência da flora visitada pelas abelhas sobre as características químicas e biológicas do produto (GHELDOLF; WANG; ENGESETH, 2002; BERETTA et al., 2005; AL et al., 2009; KARABAGIAS et al., 2023).

A atividade antimicrobiana do mel tem sido amplamente atribuída à ação combinada de múltiplos fatores. Entre os mecanismos mais investigados destaca-se a produção de peróxido de hidrogênio mediada pela enzima glicose oxidase, descrita como um dos principais componentes do sistema antibacteriano do mel (MOLAN, 1992; MOLAN, 2001). No entanto, evidências experimentais indicam que alguns méis apresentam atividade antimicrobiana significativa mesmo na ausência de níveis elevados de peróxido, sugerindo a participação de outros compostos bioativos, como fenólicos e flavonoides, na determinação dessa propriedade (ALLEN; MOLAN; REID, 1991; ESTEVIHO et al., 2008; ABDI et al., 2024).

Estudos contemporâneos sobre autenticidade e qualidade do mel também destacam a importância da integração entre parâmetros físico-químicos, perfil químico e análises estatísticas para identificação da origem floral e detecção de adulterações. Abordagens analíticas recentes têm demonstrado que a avaliação conjunta de açúcares, compostos fenólicos e minerais permite diferenciar méis de distintas regiões geográficas e origens botânicas, fortalecendo os sistemas de rastreabilidade e controle de qualidade do produto (RAWEH et al., 2023; INSHA et al., 2024).

Dessa forma, a literatura científica contemporânea evidencia que as propriedades físico-químicas e biológicas do mel resultam da interação complexa entre fatores botânicos, bioquímicos e ecológicos. A composição do néctar, as

transformações metabólicas realizadas pelas abelhas e as características da flora regional atuam conjuntamente na definição da identidade química do produto. Nesse sentido, a compreensão integrada desses processos torna-se fundamental para interpretar a variabilidade observada em méis produzidos em diferentes regiões florísticas, incluindo ambientes de elevada diversidade vegetal como o bioma Cerrado brasileiro.

2.7 Integração entre origem botânica, parâmetros físico-químicos e rastreabilidade do Mel

A origem botânica do mel é amplamente reconhecida como um dos principais fatores responsáveis pela variabilidade de suas propriedades físico-químicas, sensoriais e nutricionais. A diversidade floral explorada pelas abelhas influencia diretamente a composição do néctar coletado e, consequentemente, as características químicas do mel produzido. Estudos conduzidos por Persano Oddo e Piro (2004) e Anklam (1998) demonstram que diferentes espécies vegetais produzem néctares com composições distintas de açúcares, minerais e metabólitos secundários, o que se reflete nas propriedades analíticas do mel. Dessa forma, parâmetros como pH, acidez livre, condutividade elétrica e teor de umidade são frequentemente utilizados para caracterizar méis provenientes de diferentes origens florais (Terrab et al., 2002; Azeredo et al., 2003).

A composição de açúcares constitui um dos aspectos mais relevantes da química do mel. A frutose e a glicose representam os principais monossacarídeos presentes nesse alimento, sendo responsáveis por grande parte de suas propriedades físico-químicas e tecnológicas. Estudos realizados por Ruiz-Matute et al. (2007) demonstraram que, além desses açúcares predominantes, o mel contém diversos oligossacarídeos e dissacarídeos em menores concentrações, os quais podem contribuir para a caracterização da origem floral e geográfica. Resultados semelhantes foram observados por Cotte et al. (2004), que destacaram a importância da análise detalhada do perfil de carboidratos para a autenticação e classificação do mel.

Além dos carboidratos, diversos compostos bioativos estão presentes no mel, incluindo ácidos orgânicos, compostos fenólicos e flavonoides. Esses metabólitos são amplamente reconhecidos por sua contribuição para as propriedades antioxidantes e biológicas do mel. Pesquisas conduzidas por Beretta et al. (2005) demonstraram que

a composição fenólica varia significativamente entre diferentes méis monoflorais, refletindo a diversidade de espécies vegetais visitadas pelas abelhas. De forma semelhante, Ferreira et al. (2009) observaram que méis provenientes de distintas origens florais apresentam diferenças marcantes na concentração de compostos fenólicos e na capacidade antioxidante.

Entretanto, a literatura científica destaca que a composição química do mel não depende exclusivamente da origem botânica. Fatores ambientais e geográficos também desempenham papel fundamental na determinação de suas características químicas. Estudos realizados por Escuredo et al. (2013) demonstraram que condições edafoclimáticas, como tipo de solo, temperatura e disponibilidade hídrica, podem influenciar significativamente o perfil mineral do mel. Resultados semelhantes foram observados por Khalil et al. (2012), que identificaram variações na atividade antioxidante e no conteúdo de compostos fenólicos em méis de mesma origem floral coletados em diferentes regiões.

Além dos aspectos químicos, o mel apresenta características microbiológicas particulares que influenciam sua estabilidade e conservação. Devido ao seu baixo teor de água, elevada concentração de açúcares e presença de compostos antimicrobianos naturais, o mel apresenta atividade inibitória contra diversos microrganismos. No entanto, algumas leveduras osmofílicas podem sobreviver nesse ambiente e, sob determinadas condições de umidade e temperatura, provocar fermentação do produto. Estudos conduzidos por Snowdon e Cliver (1996) demonstraram que a microbiota do mel é composta principalmente por esporos bacterianos e leveduras osmofílicas provenientes do ambiente e do trato digestivo das abelhas.

Investigações posteriores realizadas por Iurlina e Fritz (2005) identificaram a presença de diferentes espécies de leveduras e bactérias em amostras de mel comercializadas na América do Sul, destacando a importância do controle microbiológico durante o processamento e armazenamento do produto. De forma semelhante, Olaitan et al. (2007) ressaltaram que condições inadequadas de armazenamento podem favorecer processos fermentativos, levando à produção de etanol, dióxido de carbono e ácidos orgânicos.

A fermentação do mel ocorre principalmente quando o teor de umidade ultrapassa níveis considerados seguros para sua conservação. Nessas condições, leveduras osmofílicas podem metabolizar os açúcares presentes no mel, resultando

em alterações sensoriais e redução da qualidade do produto. Estudos conduzidos por Tosi et al. (2004) demonstraram que a fermentação está diretamente relacionada ao conteúdo de água e à atividade de água do mel, parâmetros frequentemente utilizados para avaliar sua estabilidade microbiológica.

Nos últimos anos, avanços analíticos têm ampliado significativamente as ferramentas utilizadas para estudar a composição e a autenticidade do mel. Técnicas espectroscópicas, cromatográficas e quimiométricas têm sido aplicadas com sucesso na diferenciação de méis provenientes de distintas origens florais e geográficas. Pesquisas realizadas por Karabagias et al. (2014) demonstraram que a aplicação de métodos quimiométricos a dados físico-químicos e espectrais permite classificar méis com elevada precisão.

De forma semelhante, estudos conduzidos por Oroian et al. (2018) destacam que a combinação de análises químicas com ferramentas estatísticas multivariadas aumenta significativamente a confiabilidade na determinação da origem botânica do mel. Essas abordagens permitem integrar informações relativas à composição de açúcares, compostos fenólicos, minerais e outros metabólitos presentes no produto.

Diante desse conjunto de evidências, observa-se que a composição do mel resulta de uma complexa interação entre fatores botânicos, ambientais, microbiológicos e tecnológicos. Enquanto a origem floral exerce influência direta sobre o perfil químico do produto, fatores relacionados ao ambiente de produção, ao manejo apícola e às condições de armazenamento também desempenham papel importante na determinação de suas características finais. Nesse contexto, abordagens integradas envolvendo análises físico-químicas, microbiológicas e estatísticas têm sido amplamente recomendadas para a caracterização da qualidade e da autenticidade do mel (Karabagias et al., 2014; Oroian et al., 2018; Khalil et al., 2012).

2.8 Parâmetros físico-químicos aprofundados

O néctar constitui uma solução aquosa complexa produzida pelas glândulas nectaríferas das plantas e representa a principal recompensa oferecida aos polinizadores durante as interações planta-animal. Sua composição é dominada por açúcares — principalmente sacarose, glicose e frutose — que fornecem a principal fonte energética para insetos e outros visitantes florais. Contudo, o néctar também contém diversos compostos minoritários, incluindo aminoácidos, íons minerais,

compostos fenólicos e metabólitos secundários, cuja concentração e composição variam amplamente entre espécies vegetais e condições ambientais (LIU et al., 2024; MOHAMADZADE NAMIN; GHOSH; JUNG, 2023). Essas variações refletem adaptações ecológicas associadas às estratégias de polinização e podem influenciar significativamente o comportamento de forrageamento dos polinizadores.

Estudos recentes demonstram que os componentes não açucarados do néctar desempenham funções ecológicas importantes, atuando na modulação das interações entre plantas e polinizadores. Compostos como aminoácidos, alcaloides e fenólicos podem alterar a atratividade do néctar, influenciar a preferência alimentar dos polinizadores e até mesmo afetar processos fisiológicos associados à aprendizagem e à memória em insetos (GÖTTLINGER; LOHAUS, 2022; ESCUREDO et al., 2023). Além disso, a composição química do néctar pode variar em resposta a fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, microbiota associada às flores e frequência de visitas por polinizadores, refletindo a natureza dinâmica desse recurso floral.

No contexto da produção de mel, a composição química inicial do néctar exerce influência direta sobre as características físico-químicas e bioativas do produto final. Durante a coleta, as abelhas transportam o néctar para a colmeia, onde ocorre um processo fisiológico e bioquímico complexo que envolve tanto a desidratação progressiva do líquido quanto a incorporação de enzimas provenientes das glândulas hipofaríngeas das operárias. Estudos clássicos de fisiologia das abelhas descrevem que esse processo inclui intensa ventilação da colmeia e transformações enzimáticas que modificam profundamente o perfil químico do néctar (CRANE, 1983; WINSTON, 1987; SEELEY, 1995).

Entre as transformações bioquímicas mais relevantes destaca-se a hidrólise da sacarose catalisada pela enzima invertase (β -frutofuranosidase), responsável pela conversão desse dissacarídeo em glicose e frutose, açúcares predominantes no mel maduro. Investigações clássicas sobre a bioquímica do mel demonstram que a atividade dessas enzimas varia conforme o estágio de maturação do produto dentro da colmeia, resultando em diferenças significativas entre o néctar recém-coletado e o mel completamente maturado (WHITE, 1975; DONER, 1977; WHITE, 1978).

Além da modificação do perfil de açúcares, o mel também incorpora compostos bioativos derivados tanto do metabolismo das abelhas quanto da origem botânica do néctar. Nesse contexto, compostos fenólicos e flavonoides presentes nas plantas

desempenham papel relevante na atividade antioxidante e antimicrobiana do mel, contribuindo para suas propriedades funcionais. Diversos estudos indicam que a concentração desses compostos varia significativamente entre méis de diferentes origens florais, evidenciando a forte influência da flora visitada pelas abelhas sobre as características químicas e biológicas do produto (GHELDOLF; WANG; ENGESETH, 2002; BERETTA et al., 2005; AL et al., 2009; KARABAGIAS et al., 2023).

A atividade antimicrobiana do mel tem sido amplamente atribuída à ação combinada de múltiplos fatores. Entre os mecanismos mais investigados destaca-se a produção de peróxido de hidrogênio mediada pela enzima glicose oxidase, descrita como um dos principais componentes do sistema antibacteriano do mel (MOLAN, 1992; MOLAN, 2001). No entanto, evidências experimentais indicam que alguns méis apresentam atividade antimicrobiana significativa mesmo na ausência de níveis elevados de peróxido, sugerindo a participação de outros compostos bioativos, como fenólicos e flavonoides, na determinação dessa propriedade (ALLEN; MOLAN; REID, 1991; ESTEVIHO et al., 2008; ABDI et al., 2024).

Estudos contemporâneos sobre autenticidade e qualidade do mel também destacam a importância da integração entre parâmetros físico-químicos, perfil químico e análises estatísticas para identificação da origem floral e detecção de adulterações. Abordagens analíticas recentes têm demonstrado que a avaliação conjunta de açúcares, compostos fenólicos e minerais permite diferenciar méis de distintas regiões geográficas e origens botânicas, fortalecendo os sistemas de rastreabilidade e controle de qualidade do produto (RAWEH et al., 2023; INSHA et al., 2024).

Dessa forma, a literatura científica contemporânea evidencia que as propriedades físico-químicas e biológicas do mel resultam da interação complexa entre fatores botânicos, bioquímicos e ecológicos. A composição do néctar, as transformações metabólicas realizadas pelas abelhas e as características da flora regional atuam conjuntamente na definição da identidade química do produto. Nesse sentido, a compreensão integrada desses processos torna-se fundamental para interpretar a variabilidade observada em méis produzidos em diferentes regiões florísticas, incluindo ambientes de elevada diversidade vegetal como o bioma Cerrado brasileiro.

2.8.1 Umidade e estabilidade microbiológica

O teor de umidade constitui um dos principais determinantes da estabilidade microbiológica do mel, uma vez que níveis elevados favorecem a fermentação por leveduras osmofílicas, reduzindo a vida útil do produto. Conforme estabelecido pela Codex Alimentarius Commission (2001), o limite máximo recomendado para o teor de umidade em méis destinados ao consumo humano é de 20%, parâmetro amplamente adotado em regulamentos internacionais de qualidade.

Estudos recentes indicam que parâmetros climáticos podem influenciar a produtividade e características do mel em sistemas de apicultura migratória (ŞENGÜL et al., 2023), demonstraram que a estabilidade do mel está mais diretamente relacionada à atividade de água do que ao teor de umidade isoladamente, indicando que pequenas variações na composição de açúcares podem alterar significativamente o comportamento microbiológico do produto. A fermentação do mel pode ser favorecida quando há maior teor de umidade e atividade de água, condições que influenciam o desenvolvimento de leveduras e estão associadas ao potencial fermentativo do produto durante o armazenamento (K. Polatidou et al., 2025). Outras pesquisas reforçam essa interpretação onde na literatura aponta que variações meteorológicas de curto prazo podem impactar a produção e as propriedades do mel (VINCZE et al., 2024). Podem também verificar que méis com teor de umidade próximo ao limite regulamentar podem permanecer estáveis quando armazenados em condições adequadas de temperatura e baixa umidade relativa do ar. Entretanto, Iurlina e Fritz (2005) demonstraram que a fermentação pode ocorrer mesmo em méis dentro dos limites legais quando há elevada carga inicial de leveduras osmofílicas, evidenciando a importância do controle microbiológico durante o processamento e armazenamento.

No contexto ambiental, diversos estudos indicam que fatores climáticos exercem influência direta sobre o teor final de umidade do mel. Estudos comparativos entre méis de diferentes locais de produção mostram variações em parâmetros como acidez, condutividade elétrica e composição mineral, sugerindo forte influência da origem botânica e regional na qualidade do mel (FINOLA; LASAGNO; MARIOLI, 2007; GONZÁLEZ-MIRET et al., 2008). De forma semelhante, Aidoo, Sakyi-Dawson e Tano-Debrah (2004) destacaram que níveis elevados de umidade relativa do ar durante o período de colheita dificultam o processo de desidratação natural realizado pelas abelhas, aumentando o risco de fermentação.

Abordagens multivariadas baseadas em parâmetros físico-químicos têm sido

amplamente empregadas para discriminar méis quanto à sua origem botânica e geográfica (M. B. dos S. Scholz et al., 2020). Verificaram que méis provenientes de determinadas espécies vegetais apresentam tendência natural a maiores teores de umidade, refletindo diferenças na composição do néctar. A composição físico-química do mel — especialmente o perfil de açúcares, o teor de minerais, a umidade e a condutividade elétrica — varia conforme a origem botânica, influenciando propriedades como higroscopicidade, tendência à cristalização e parâmetros de qualidade do produto (Alberto Anklam, 1998).

A proporção entre frutose e glicose influencia diretamente a tendência à cristalização do mel, afetando sua estabilidade físico-química, sendo que o teor de umidade também contribui significativamente para esse processo (Ji et al., 2023). Em abordagem complementar, estudos em química de alimentos indicam que a estabilidade de produtos ricos em açúcares — como o mel — depende do equilíbrio higroscópico entre a matriz alimentar e as condições ambientais de armazenamento (Belitz, Grosch & Schieberle, 2009). Estudos mais recentes ampliam a compreensão sobre esses fatores. Manickavasagam et al. (2024) demonstraram que condições inadequadas de armazenamento e processamento podem alterar parâmetros físico-químicos do mel, afetando sua composição, propriedades de qualidade e estabilidade, incluindo aspectos relevantes à sua estabilidade microbiológica (Manickavasagam et al., 2024). De maneira semelhante, estudos recentes indicam que mudanças climáticas têm alterado variáveis ambientais como padrões de temperatura, umidade e precipitação em regiões produtoras de mel, com potencial impacto sobre a atividade das abelhas e as propriedades físico-químicas do mel (Zapata-Hernández et al., 2024).

Resultados semelhantes foram reportados por Şengül et al. (2023), que observaram que parâmetros climáticos — como temperatura, precipitação e umidade — influenciam variáveis relacionadas à produção e qualidade do mel, afetando aspectos como produtividade e condições ambientais em regiões produtoras. Mais recentemente, Sahin Demirel et al. (2025) utilizaram abordagens de aprendizado de máquina para analisar a influência de variáveis climáticas (incluindo humidade e precipitação) sobre parâmetros de mel e eficiência da produção apícola, demonstrando o potencial de modelos preditivos para relacionar condições climáticas com características do mel e desempenho produtivo.

Dessa forma, observa-se que, embora o limite de 20 % estabelecido por normas

internacionais seja amplamente utilizado como indicador de qualidade, diversos estudos apontam que a estabilidade microbiológica do mel depende da interação entre múltiplos fatores, incluindo atividade de água, composição de açúcares, carga microbiana inicial, condições climáticas e práticas de manejo pós-colheita (Albu et al., 2025; Al-Ghamdi et al., 2025; Luca et al., 2025). Assim, o teor de umidade deve ser interpretado como parte de um sistema complexo de variáveis físico-químicas e ambientais que determinam a qualidade, a estabilidade e a segurança microbiológica do mel.

2.8.2 pH e acidez livre

O pH ácido do mel constitui um dos principais mecanismos que contribuem para sua estabilidade microbiológica, com valores tipicamente entre ~3,5 e 5,5 devido à presença de ácidos orgânicos como o ácido glucônico formado durante a maturação do néctar (White Jr., 1979). Estudos mais recentes mostram que a variação do pH e da composição de ácidos orgânicos conforme a origem floral está associada a diferenças nas propriedades físico-químicas e na atividade antibacteriana dos méis (Luca et al., 2025; Luca, Pauliuc & Oroian, 2024). Esses trabalhos confirmam que não apenas o pH, mas a interação entre composição química e microbiota natural do mel influenciam sua estabilidade e funcionalidade microbiológica.

Estudos recentes demonstram que a atividade antimicrobiana do mel não depende apenas do pH ácido, mas de mecanismos sinérgicos envolvendo *peróxido de hidrogênio*, compostos fenólicos, atividade enzimática (como da glucose oxidase) e bioativos específicos que variam com a origem floral. Por exemplo, comparações entre méis de *honeydew* polonês e mel de Manuka mostraram que diferenças na composição físico-química estão associadas a variações significativas na capacidade de inibir o crescimento de *bactérias gram-positivas e gram-negativas* e de interferir em processos de biofilme ou infecção viral (Grabek-Lejko et al., 2024).

Sob perspectiva botânica e composicional, a literatura demonstra que o pH e a acidez do mel estão diretamente relacionados à sua origem floral e às características metabólicas das plantas visitadas pelas abelhas. Estudos recentes indicam que variações na composição química do néctar podem resultar em diferenças significativas na concentração de ácidos orgânicos e compostos bioativos presentes no mel. Nesse contexto, Yu et al. (2023) demonstraram que a composição química do

mel de *Castanopsis* apresenta variações relevantes em parâmetros físico-químicos e no conteúdo de compostos bioativos, refletindo a influência direta da origem botânica sobre propriedades como acidez e atividade biológica.

Análises comparativas mais amplas também reforçam essa relação. Em uma revisão sistemática e meta-análise envolvendo diferentes espécies de abelhas e origens botânicas, Zaldivar-Ortega et al. (2024) observaram que parâmetros físico-químicos como pH, umidade e teor de compostos fenólicos apresentam variações significativas entre méis produzidos por *Apis mellifera* e abelhas sem ferrão, evidenciando o papel da origem floral e da espécie produtora na determinação da composição química do produto.

Resultados semelhantes foram reportados por Dos Santos et al. (2024) ao analisarem méis de abelhas sem ferrão da Austrália, identificando diferenças expressivas nos parâmetros físico-químicos, incluindo pH, umidade e atividade antioxidante. Os autores destacam que essas variações refletem não apenas a diversidade botânica, mas também fatores ambientais e ecológicos que influenciam a composição do néctar e o processo de maturação do mel.

De forma convergente, investigações recentes sobre méis regionais demonstram que a variabilidade de compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos pode impactar diretamente características como acidez, capacidade antioxidante e estabilidade química. Nesse sentido, Silici e Yilmaztürk (2025) observaram que méis provenientes de diferentes regiões da Anatólia apresentam diferenças significativas em parâmetros físico-químicos e no conteúdo de compostos bioativos, reforçando que fatores botânicos e ambientais atuam conjuntamente na determinação da qualidade química do mel.

Assim, evidências recentes indicam que o pH e a acidez do mel devem ser interpretados como parte de um conjunto integrado de características físico-químicas influenciadas pela origem botânica, pelas condições ambientais e pela composição química do néctar, fatores que, em conjunto, determinam propriedades funcionais e a estabilidade do produto resultante (YU et al., 2023; ZALDIVAR-ORTEGA et al., 2024; DOS SANTOS et al., 2024; SILICI; YILMAZTÜRK, 2025).

No âmbito da autenticidade e da caracterização da qualidade do mel, diferentes abordagens têm sido propostas para interpretar parâmetros químicos associados à origem e estabilidade do produto. Estudos clássicos demonstraram que o perfil de ácidos orgânicos pode atuar como marcador complementar da origem floral,

contribuindo para a diferenciação entre méis de distintas fontes botânicas. Entretanto, também foi observado que a sobreposição de valores de acidez entre diferentes amostras pode limitar o uso isolado desse parâmetro para fins classificatórios, indicando a necessidade de análises complementares. Avanços metodológicos mais recentes, incluindo técnicas cromatográficas e estratégias analíticas integradas, têm ampliado a capacidade de discriminar méis com base em seu perfil químico, aumentando a confiabilidade dos processos de autenticação.

Nesse contexto, pesquisas contemporâneas e atuais como *Journal of Food Composition and Analysis* têm reforçado que o pH, a acidez livre e o conjunto de compostos bioativos estão diretamente relacionados à estabilidade, à qualidade e às propriedades funcionais do mel, refletindo tanto a origem botânica quanto fatores ambientais e de processamento. Revisões e estudos experimentais recentes destacam que a composição físico-química do mel resulta da interação entre açúcares, ácidos orgânicos, compostos fenólicos, minerais e outros metabólitos, os quais contribuem simultaneamente para suas propriedades antioxidantes, biológicas e terapêuticas (AL-KAFAWEEN et al., 2023; AILLI et al., 2024; HUYOP et al., 2024). Além disso, análises voltadas à caracterização do perfil físico-químico e à avaliação de parâmetros de qualidade têm evidenciado que indicadores como pH e acidez devem ser interpretados de forma integrada com outros componentes da matriz do mel, visto que variações botânicas, ambientais e tecnológicas podem influenciar significativamente esses parâmetros (TONIAZZO et al., 2023; *Journal of Food Composition and Analysis*, 2026).

Assim, observa-se na literatura uma tensão interpretativa: enquanto parte dos autores enfatiza o pH como um indicador relevante de estabilidade e identidade botânica do mel (Bogdanov, 1997; Ouchemoukh et al., 2007), estudos mais recentes ressaltam que sua interpretação isolada pode ser limitada devido à influência de fatores climáticos, florísticos e bioquímicos que modulam simultaneamente a acidez, o conteúdo mineral e os compostos fenólicos da matriz apícola (ANASTASIOU et al., 2023; GHORAB et al., 2024; AL-KAFAWEEN et al., 2023). Dessa forma, pH e acidez livre devem ser analisados dentro de uma abordagem integrada e multivariada, considerando a complexidade química do mel e os fatores botânicos, ambientais e tecnológicos que influenciam sua composição.

2.8.3 Condutividade elétrica e minerais

A condutividade elétrica do mel é amplamente reconhecida como um importante parâmetro físico-químico relacionado à presença de compostos ionizáveis na matriz do produto. Esse indicador está diretamente associado ao conteúdo de sais minerais — especialmente potássio — além de ácidos orgânicos, proteínas e outros constituintes que contribuem para a capacidade do mel de conduzir corrente elétrica. Nesse contexto, estudos recentes têm demonstrado que a resposta elétrica do mel está fortemente relacionada à composição mineral do produto, sendo o potássio um dos principais elementos responsáveis por esse comportamento, o que possibilita inclusive sua aplicação na identificação da origem botânica (ELAMINE et al., 2024).

Pesquisas voltadas à caracterização físico-química do mel também indicam que a condutividade elétrica constitui um parâmetro relevante na diferenciação entre méis de distintas origens florais. Métodos baseados em propriedades elétricas e dielétricas têm sido empregados para avaliar a qualidade do mel e auxiliar na distinção entre diferentes tipos botânicos, evidenciando o potencial desse parâmetro como ferramenta analítica em estudos de autenticidade (WILCZYŃSKA et al., 2024). De forma complementar, investigações envolvendo méis monoflorais, poliflorais e de melato demonstram que variações nas propriedades físicas e no conteúdo de compostos associados, como prolina e minerais, estão diretamente relacionadas às características botânicas e ambientais das amostras (ÖZBAY; ARSLAN; GÖRÜR, 2024).

Além da diferenciação botânica, estudos recentes também destacam que parâmetros físico-químicos — incluindo condutividade elétrica, composição mineral e perfil químico — podem refletir características ambientais e geográficas associadas à produção do mel. Análises realizadas em diferentes regiões demonstram que a composição do solo, a flora predominante e as condições ecológicas influenciam diretamente a composição do produto e seus parâmetros físico-químicos (NUNES et al., 2024; LUCA et al., 2025). De modo semelhante, investigações envolvendo méis produzidos em diferentes ecossistemas brasileiros evidenciam que a caracterização integrada das propriedades físico-químicas, melissopalínológicas e químicas contribui para compreender as relações entre origem floral e composição do mel (SANTISTEBAN et al., 2025).

Pesquisas recentes também ressaltam que a análise conjunta de parâmetros físico-químicos e da composição elementar pode auxiliar na identificação de

alterações na qualidade do mel, incluindo processos de adulteração ou modificações em sua composição química. Nesse sentido, pesquisas recentes demonstram que variações em parâmetros como condutividade elétrica, minerais e outros componentes da matriz apícola podem refletir tanto diferenças naturais entre amostras quanto interferências decorrentes da adição de açúcares ou outras substâncias (GAJEK et al., 2026). Além disso, abordagens espectrofotométricas e eletroquímicas aplicadas à análise do mel têm contribuído para ampliar o entendimento das relações entre propriedades físico-químicas, capacidade antioxidante e composição química desse produto natural (SCHAFFEL et al., 2025).

Dessa forma, a condutividade elétrica, quando analisada em conjunto com o perfil mineral e outros parâmetros físico-químicos, configura-se como um indicador relevante na caracterização da identidade e da qualidade do mel. A integração dessas variáveis permite compreender de forma mais abrangente as relações entre origem botânica, fatores ambientais e composição biofísico-química do produto, contribuindo para estudos de autenticidade, rastreabilidade e controle de qualidade do mel.

2.9 Variabilidade ambiental, qualidade do mel e perspectivas de certificação no cerrado goiano

O Cerrado brasileiro apresenta marcada sazonalidade climática, caracterizada por estações seca e chuvosa bem definidas, fator que influencia diretamente a fenologia da vegetação e a disponibilidade de recursos florais para polinizadores. A dinâmica climática e ambiental do bioma pode afetar a produção de néctar e pólen, interferindo na qualidade e composição do mel produzido pelas abelhas. Dessa forma, a variabilidade ambiental e a diversidade botânica presentes nas diferentes regiões do Brasil contribuem significativamente para as características físico-químicas e nutricionais do mel (MACHADO-DE-MELO et al., 2018).

Diversos estudos têm demonstrado que a composição do mel pode variar em função da origem botânica, condições ambientais e região geográfica de produção. Essas variações influenciam parâmetros físico-químicos importantes, como teor de umidade, acidez, pH, condutividade elétrica e composição mineral. Além disso, o perfil químico do mel também pode refletir características ambientais específicas, sendo frequentemente utilizado como indicador de origem geográfica e botânica (KÜÇÜK et al., 2007; MACHADO-DE-MELO et al., 2018).

Pesquisas recentes realizadas com méis brasileiros reforçam a influência da diversidade floral e das condições ambientais na composição química do produto. A análise discriminante de méis produzidos por abelhas sem ferrão no Brasil demonstrou que a composição mineral, especialmente relacionada ao teor de ferro, pode atuar como marcador biogeográfico, permitindo distinguir méis provenientes de diferentes regiões (LAVINAS et al., 2023). Esses resultados evidenciam o potencial de análises químicas e mineralógicas para a rastreabilidade e autenticação do mel.

Da mesma forma, investigações envolvendo análises melissopalínológicas e físico-químicas têm demonstrado que o perfil polínico e a composição química do mel estão diretamente relacionados à flora local. Estudos conduzidos com méis de *Apis mellifera* e *Melipona mandacaia* produzidos no semiárido brasileiro indicaram variações significativas nos parâmetros físico-químicos e na composição química associadas à diversidade botânica da região (MORENO-SANTISTEBAN et al., 2025). Essas análises permitem compreender melhor as interações entre ambiente, vegetação e produção apícola.

Além da origem botânica, fatores regionais também influenciam a qualidade do mel produzido em diferentes áreas do Brasil. Estudos conduzidos em Goiás demonstraram que méis de abelhas sem ferrão produzidos em ambientes urbanos apresentam características físico-químicas distintas, refletindo a diversidade floral disponível nesses ambientes e as condições ambientais locais (LICO et al., 2023). De forma semelhante, análises realizadas com méis comercializados na cidade de Rio Verde, no estado de Goiás, evidenciaram variações nos parâmetros físico-químicos que podem estar associadas tanto à origem botânica quanto às condições de produção e armazenamento (NAVES et al., 2023).

A composição química do mel também inclui compostos bioativos importantes, como fenólicos, flavonoides e enzimas, que contribuem para suas propriedades antioxidantes e nutricionais. Estudos realizados com méis produzidos em diferentes regiões brasileiras demonstram que a presença e concentração desses compostos podem variar significativamente conforme a origem floral e as condições ambientais. Nesse contexto, análises realizadas com mel de *Apis mellifera* produzido no oeste do Paraná identificaram variações nos parâmetros físico-químicos e nos compostos bioativos associados à atividade antioxidante do produto (RIBEIRO et al., 2023).

Além disso, investigações realizadas com méis produzidos na Ilha de Marajó, no estado do Pará, também demonstraram que fatores ambientais e botânicos

influenciam diretamente a composição físico-química do mel, reforçando a importância da caracterização regional para compreender a diversidade e qualidade desse produto natural (FREITAS et al., 2022).

Nos últimos anos, abordagens analíticas mais avançadas têm sido aplicadas ao estudo do mel e de outros produtos apícolas. Técnicas metabolômicas, por exemplo, permitem comparar o perfil químico de diferentes produtos produzidos por abelhas, como mel, própolis e pólen, contribuindo para a identificação de compostos característicos e para a compreensão das diferenças entre espécies de abelhas e regiões de produção (SCHUERTS; LEITE, 2025).

Entretanto, apesar dos avanços científicos na caracterização do mel, a literatura também aponta desafios importantes relacionados à padronização de parâmetros físico-químicos, especialmente para méis produzidos por abelhas sem ferrão. A variabilidade natural desses produtos e a ausência de padrões regulatórios específicos para algumas espécies dificultam a definição de critérios universais de qualidade (FALEIROS-QUEVEDO; FRANCOY, 2022).

Nesse contexto, a caracterização integrada do mel — envolvendo análises físico-químicas, identificação polínica e métodos analíticos avançados — torna-se fundamental para compreender a variabilidade natural do produto, determinar sua origem e contribuir para a valorização do mel produzido em diferentes regiões brasileiras.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais:

Correlacionar a origem botânica e os parâmetros físico-químicos de méis produzidos no município de Anápolis (GO), visando à caracterização científica e ao fortalecimento da identidade regional do produto.

3.1.1 Analisar as espécies botânicas fornecedoras de néctar e pólen e relacionar sua origem aos parâmetros físico-químicos do mel na mesorregião de objetivos específicos:

Realizar a coleta de botões florais em campo.

Promover a coleta das amostras de méis junto aos produtores.

Submeter os botões florais e as amostras de méis ao processo de acetólise para obtenção de grãos de pólen.

Confeccionar as lâminas das amostras de grãos de pólen oriundas do processo de acetólise.

Identificar o perfil polínico das amostras de mel por meio de análise melissopalínológica.

Determinar os parâmetros físico-químicos (pH, acidez, umidade, condutividade elétrica) conforme metodologias oficiais.

Avaliar a conformidade dos resultados com a legislação brasileira vigente.

Analisar a influência da variabilidade ambiental regional sobre as características do mel.

4. METODOLOGIA

4.1 Tipo e delineamento da pesquisa

Trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, com abordagem quantitativa, de carácter observacional, uma vez que não houve manipulação experimental das variáveis, mas sim coleta e análise de amostras naturais de mel e material botânico em campo.

4.2 Área de estudo

- Apiário – Brasília (DF) – Núcleo Rural Chapadinha

Latitude: -15.51724

Longitude: -48.03210

- Apiário – Gameleira de Goiás (GO)

Latitude: -16.4632

Longitude: -48.6454

Caracterização climática

O clima predominante é tropical semiúmido, com duas estações bem definidas:

- Inverno seco (maio a setembro)
 - Verão quente e chuvoso (outubro a abril)
- A vegetação predominante é Cerrado sensu stricto, com elevada diversidade florística.

4.3 Critério de escolha dos apiários

Os apiários foram selecionados considerando:

- Produção com a espécie *Apis mellifera*
- Inserção em áreas de vegetação típica do Cerrado
- Disponibilidade de acesso para coleta
- Representatividade da flora regional

4.4 Período de coleta

As coletas foram realizadas entre os meses de agosto a dezembro, período correspondente à transição entre estação seca como também início das chuvas e início das floradas no Cerrado.

4.5 Levantamento florístico

Foi realizado mapeamento florístico nas áreas dentro do raio médio de voo das abelhas (aproximadamente 3 km).

Foram coletadas:

- 15 espécies vegetais na região da Chapadinha em torno de Brasília
- Aproximadamente 50 espécies vegetais em Goiás mesorregião de Anápolis situado na região de Gameleira de Goiás.
- As coletas priorizaram floradas ocorrentes entre agosto e novembro, com foco nas espécies mais abundantes e em floração ativa.

4.6 Coleta e conservação do material botânico

Foram coletados botões florais em pré-antese, visando evitar contaminação cruzada de pólen.

Procedimentos:

- Prensagem das exsicatas em jornal e papelão
- Secagem e encaminhamento ao herbário da UEG
- Conservação de botões florais em etanol 70%

4.7 Análises melissopalínológica

A análise polínica foi realizada pelo método de acetólise de Erdtman, conforme adaptação descrita por especialista da Universidade Federal do Ceará.

Procedimento:

- 4 mL de anidrido acético
- 1 mL de ácido sulfúrico
- Reação por 24 horas
- Banho-maria por 4 minutos
- Lavagem com 10 mL de água destilada
- Suspensão final em solução 50% água destilada + glicerina

As lâminas foram analisadas em microscópio óptico, com registro fotográfico das estruturas polínicas para composição de banco de dados regional.

A identificação foi feita por comparação entre pólen do mel e pólen das espécies coletadas.

A amostragem foi aleatória.

4.8 Análises físico-químicas

As análises seguiram metodologias do:

- Instituto Adolfo Lutz (2008)
- Instrução Normativa nº 11/2000 – MAPA
- AOAC
- Codex Alimentarius

Parâmetros avaliados:

- pH
 - Equipamento: pHmetro digital microprocessado DEL LAB, em cada amostra de mel dos produtores foi inserido o equipamento com o intuito de medir acidez do mel a concentração de íons H^+ presentes nas amostras de mel dos produtores. E em seguida, esterilizamos o equipamento para que as demais amostras sejam analisadas.
- Acidez livre
 - 5 gramas de mel diluído em 25 mL de água destilada.
 - Insira 3 a 4 gotas de fenolftaleína.
 - Titule com NaOH a 0,1 Normalidade a solução de mel.

Em um béquer pese 5 gramas de mel, em seguida, dilui a amostra de mel pesada em 25 mL de água destilada. Depois adicione entre 3 a 4 gotas de fenolftaleína e em seguida adicione em uma bureta de 25 mL NaOH a 0,1 Normalidade. Depois de ter feito todo o preparo das amostras e soluções titule- o a solução de NaOH. No final da titulação a amostra de mel aparecerá uma cor. Portanto, dependendo da cor mel o qual aparecerá uma cor alaranjado, rosa, marrom escura. Essa titulação foi feita em duplicata pois tivemos que comparar o momento exato da cor do mel antes e depois e anotar o ponto de viragem que conforme os seguintes métodos físico-químicos para análise de alimentos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (LUTZ, 2008).

- Umidade
 - Método por refração, inserimos uma pequena quantidade de mel por meio de uma pipeta de pasteur na lâmina do equipamento denominado de refretômetro ATC.
- Condutividade elétrica
 - Cada amostra de mel dos produtores foi analisada a condutividade, ou seja, cada amostra de mel foi inserido medindo a condução quando o equipamento matinha o valor anotávamos e esterilizávamos todo o equipamento para que não houvesse contaminação das outras amostras de mel dos produtores.
- Teor de Cinzas
 - Em um cadinho primeiro e números ele, em seguida pesamos o cadinho e anotamos o seu peso sem o mel, em seguida adicionamos 4 gramas de mel nos cadinhos e anotamos o valor de 4 gramas, adiante colocamos esses cadinhos numa chapa aquecedora para que todo o mel que esteja dentro do cadinho seja caramelizado por inteiro para que quando forem levados para a mufula ao ser calcinado a amostra de mel não perca a massa o qual foi pesada anteriormente. Depois das amostras de méis estiverem caramelizadas como dito levarei 3 a 4 amostras de mel para a mufula a uma temperatura 600° C onde será feito a calcinação desse mel por 4 horas.

4.9 Tratamento estatísticas

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®), elaborados gráficos descritivos para cada parâmetro analisado. Considerando o carácter descritivo do estudo, os resultados foram interpretados com base na comparação com os limites estabelecidos pela legislação vigente (MAPA, Codex Alimentarius e AOAC), bem como na literatura científica especializada sobre méis do bioma Cerrado.

4.10 Coleta dos botões florais e amostras de méis

Neste trabalho foram realizadas coletas de botões florais nas proximidades dos apiários, bem como amostras de mel provenientes de colônias manejadas por

apicultores da Associação de Apicultores de Anápolis. A coleta de botões florais em estágio de pré-antese constituiu etapa fundamental do estudo, pois assegura a obtenção de grãos de pólen íntegros, ainda não liberados para o ambiente, minimizando riscos de contaminação por pólen exógeno e garantindo maior fidelidade taxonômica do material analisado, conforme já descrito em estudos clássicos de morfologia vegetal e técnicas de preparação de material botânico (JOHANSEN, 1940; SASS, 1958).

O estágio de pré-antese é considerado particularmente adequado para investigações palinológicas, uma vez que as anteras se encontram completamente formadas, porém ainda fechadas, preservando o conteúdo polínico em condições naturais e protegidas. Essa preservação estrutural é essencial para a correta observação das características morfológicas dos grãos de pólen, como ornamentação da exina, tipo de abertura e dimensões polares e equatoriais, elementos amplamente utilizados na identificação taxonômica de espécies vegetais, conforme sistematizado por Hesse e colaboradores em estudos sobre terminologia e morfologia polínica (HESSE et al., 2009). Nesse contexto, autores brasileiros como Melhem destacam que a variabilidade polínica entre espécies vegetais representa um importante recurso para estudos taxonômicos e para a identificação de plantas associadas à produção de mel.

Os botões florais foram coletados diretamente das plantas matrizes em campo, priorizando indivíduos em pleno vigor vegetativo e reprodutivo. A seleção foi realizada com base em critérios morfológicos visíveis, como tamanho compatível com o estágio final de desenvolvimento, coloração característica da espécie e ausência de abertura das pétalas. Procedimentos semelhantes são amplamente recomendados em estudos de taxonomia vegetal e ecologia reprodutiva, uma vez que reduzem interferências ambientais e possíveis contaminações por pólen transportado pelo vento ou por insetos (SIMPSON, 2010). Nesse sentido, pesquisas sobre flora visitada por abelhas demonstram que o conhecimento das espécies vegetais disponíveis no ambiente é essencial para compreender as interações entre polinizadores e plantas, conforme discutido em estudos sobre biologia e ecologia de abelhas conduzidos por Imperatriz-Fonseca e colaboradores.

Após a coleta, o material vegetal foi acondicionado em tubos Falcon de 50 mL contendo solução de etanol a 70%, procedimento amplamente empregado para conservação de tecidos vegetais, pois inibe a atividade enzimática e o crescimento

microbiano, mantendo a integridade estrutural das anteras e dos grãos de pólen (KRESS; ERICKSON, 2007). Parte das amostras vegetais foi destinada à confecção de exsicatas, sendo prensadas, desidratadas e posteriormente encaminhadas ao Herbário da Universidade Estadual de Goiás para identificação taxonômica. A elaboração de exsicatas é considerada uma etapa fundamental para documentação botânica e confirmação da identidade das espécies coletadas, garantindo rastreabilidade científica do material analisado (BRIDSON; FORMAN, 1998).

Em laboratório, os botões florais foram examinados sob estereomicroscópio para confirmação do estágio de desenvolvimento floral. Em seguida, procedeu-se à dissecação cuidadosa para remoção das anteras utilizando pinças esterilizadas, sendo estas posteriormente transferidas para tubos Falcon de 15 mL para processamento e análise palinológica. A análise detalhada da morfologia polínica constitui um dos principais métodos para identificação das espécies vegetais associadas à produção de mel. De acordo com estudos clássicos de palinologia aplicada, como os desenvolvidos por Bryant e Jones, a interpretação das características estruturais do pólen permite identificar padrões florísticos e compreender a origem botânica de produtos apícolas.

Diversos pesquisadores destacam que a análise polínica não se restringe apenas à identificação taxonômica das plantas, mas também permite compreender a relação entre abelhas e recursos florais disponíveis no ambiente. Trabalhos desenvolvidos por Silva, Queiroz e Imperatriz-Fonseca demonstram que a análise do pólen presente em produtos das abelhas fornece informações importantes sobre o comportamento de coleta das abelhas e sobre a diversidade de plantas utilizadas como fonte de néctar e pólen. De forma semelhante, estudos conduzidos por Kiill e Santos ressaltam que a identificação da flora visitada por abelhas em diferentes regiões brasileiras contribui para a caracterização da flora apícola e para a compreensão das dinâmicas ecológicas associadas à produção de mel.

As amostras de mel utilizadas neste estudo foram coletadas pelos próprios apicultores, seguindo orientações previamente estabelecidas e utilizando frascos limpos e secos. As coletas ocorreram durante os períodos de safrinha, sendo analisadas, ao longo do ano, entre cinco e dez amostras representativas da produção local. A análise do espectro polínico presente nessas amostras permite estabelecer relações entre a composição floral do ambiente e a origem botânica do mel, abordagem amplamente utilizada em estudos melissopalínológicos. Pesquisas

conduzidas por Sodré e colaboradores demonstram que a análise combinada das características físico-químicas do mel e de seu conteúdo polínico permite identificar as principais espécies vegetais utilizadas pelas abelhas na produção do produto.

Além disso, abordagens mais recentes têm integrado a análise polínica a outras metodologias analíticas para avaliação da qualidade e autenticidade do mel. Nesse contexto, estudos contemporâneos apontam que a associação entre diferentes técnicas analíticas pode contribuir para uma caracterização mais precisa da origem botânica do mel e de suas propriedades químicas (TESFAYE et al., 2024). Essa perspectiva também é discutida por pesquisadores como Franco, que destacam a importância da integração entre métodos tradicionais e técnicas modernas na análise de produtos apícolas.

Outros pesquisadores brasileiros, como Fabiana de Oliveira da Silva, Márcia Regina Figueiredo, Rita de Cássia Bastos e Ana Maria Saraiva, também enfatizam a importância da identificação da flora visitada pelas abelhas para compreender a composição botânica do mel e sua relação com os ecossistemas locais. De maneira semelhante, estudos internacionais conduzidos por Jones e Maurizio reforçam que a melissopalínologia permanece como uma das ferramentas mais eficazes para investigar a origem floral do mel e compreender a interação entre abelhas e plantas.

Dessa forma, a associação entre o material botânico coletado em campo e as análises polínicas do mel permite estabelecer correlações seguras entre a flora visitada pelas abelhas e a origem botânica do produto. A comparação entre os diferentes autores evidencia que, embora existam diversas abordagens metodológicas complementares, a análise polínica continua sendo um método essencial para a caracterização da flora apícola regional e para a valorização do mel quanto à sua procedência e qualidade.

Figura 1 – A



Figura 2 – B



Figura 3 – C



Figura 4 – D



Figura 5 – E



Figura 6 – F



Figura: “A”, “B”, “C” Foram coleta de botões florais em pré-antese no cerrado de Goiás situado na mesoregiao de Anápolis município de Gameleira.

Figura: “D” Foram armazenamento dos todos os botões florais num tubo de falcon.

Figura: “E”; “F” Foram coletas de amostras de méis dos produtores.

(**Fonte:** Autoria própria)

4.11 Acetólise dos méis dos produtores

A acetólise do mel constitui um procedimento químico clássico da melissopalínologia, empregado para a extração e análise do conteúdo polínico presente nas amostras. Inicialmente, num tubo de ensaio e um tubo de falcon de 15ml foi pesado uma alíquota representativa de 4g de mel, e submetida ao tratamento com ácido acético glacial, permanecendo em repouso por aproximadamente 24 horas, etapa destinada à desidratação do material o ácido acético glacial tem alta afinidade por água. Ao ser adicionado ao mel (que contém cerca de 17-20% de água), ele

absorve essa água, como também remove substâncias solúveis como Açúcares (Glicose e Frutose), compostos orgânicos solúveis em água, Solubilização de Pigmentos e Ceras. Após as 24 horas, o material é centrifugado e o sobrenadante (ácido acético glacial contendo os açúcares dissolvidos) é descartado num recipiente adequado, restando um precipitado contendo o pólen, pronto para a próxima fase da análise. Em seguida, a amostra é tratada com a mistura acetolítica composta por anidrido acético e ácido sulfúrico concentrado, 4ml de anidrido acético para 1ml de ácido sulfúrico totalizando 5ml de solução em cada amostra de mel analisada, conforme metodologia consagrada na literatura especializada da Dra. Cláudia Inês da Silva da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Cada amostra foi submetida a banho maria por 5 minutos submetido a uma temperatura 100°C, retirar as amostras e colocar numa estante para Tubos de Ensaio e/ tubos de Falcon. Essa reação promove a degradação de açúcares, proteínas e outros componentes orgânicos do mel, preservando exclusivamente a exina dos grãos de pólen, estrutura altamente resistente à ação química esse processo é usado para limpeza e para "abrir" o pólen, facilitando a visualização de suas características morfológicas no microscópio. Após o término da reação, centrifugo novamente e descarto em um recipiente adequado e reservo esse sobrenadante no tubo de falcon, logo adiante, adicionou-se 10ml de água destilada na amostra acetolizada, pois a água destilada interrompe a reação químico garantindo para que a exina (casca externa do pólen) fique limpa e visível, sem ser danificada pelo excesso de ácido.

Posteriormente preparamos uma solução de 50% de água destilada e glicerina denominada de (água glicerinada) preparação que serve para lavar, neutralizar e preservar os grãos de pólen, preparando-os para a análise microscópica. O sedimento final faz com que coletamos uma parte com a gelatina de Kisser, num béquer adiciono é então montado em lâminas de vidro e analisado em microscopia óptica, possibilitando a identificação morfológica e a quantificação dos tipos polínicos presentes no mel. Esse procedimento permite a obtenção de informações confiáveis sobre a origem botânica e a composição florística associada à produção do mel analisado (ERDTMAN, 1960; LOUVEAUX; MAURIZIO; VORWOHL, 1978; BARTH, 1989; BARTH, 2004).

Figura 7 – G



Figura 8 – H



Figura 9 - I



Figura: “G”, “H”, “I” Foram feitas análises por meio da acetólise das amostras de méis dos produtores. Onde cada amostra passou pela análise de acetólise tirando todo conteúdo citoplasmático do mel ficando só a parte dos grãos de pólen denominado de Exina.

(**Fonte:** Autoria própria)

4.12 Acetólise dos botões florais:

A acetólise aplicada a botões florais constitui um procedimento clássico da palinologia estrutural, amplamente empregado para a obtenção e preparação de grãos de pólen destinados à análise morfológica, sendo descrita em manuais especializados de morfologia polínica (FAEGRI; IVERSEN, 1989; SALGADO-LABOURIAU, 1973). Diferentemente da melissopalinologia, cujo material de partida é o mel, nesta metodologia o material analisado consiste diretamente nas estruturas reprodutivas vegetais, especialmente anteras provenientes de botões florais em pré-antese, abordagem amplamente utilizada em estudos taxonômicos e ecológicos (PUNT et al., 2007).

Inicialmente, os botões florais foram coletados e mantidos em frascos apropriados. Em laboratório, procedeu-se à dissecação sob lupa estereoscópica para remoção das anteras, que foram transferidas para tubos de ensaio ou tubos Falcon de 15 mL. O material foi submetido à lavagem com ácido acético glacial, permanecendo em repouso por aproximadamente 24 horas, etapa destinada à desidratação e remoção de substâncias citoplasmáticas solúveis, conforme protocolos tradicionais de preparação polínica (SALGADO-LABOURIAU, 1973).

Após o período de repouso, as amostras foram centrifugadas, descartando-se cuidadosamente o sobrenadante e preservando o sedimento contendo os grãos de pólen liberados das anteras. Em seguida, adicionou-se a mistura acetolítica composta por 4 mL de anidrido acético e 1 mL de ácido sulfúrico concentrado, na proporção de 4:1 (v/v), totalizando 5 mL por amostra. Esta solução promove a digestão de componentes orgânicos como celulose e proteínas, preservando a exina, estrutura resistente responsável pelas características diagnósticas do pólen (FAEGRI; IVERSEN, 1989).

As amostras foram submetidas a banho-maria a aproximadamente 100 °C por cerca de 3 a 5 minutos, seguido de nova centrifugação e descarte do sobrenadante ácido. Para interromper a reação química, adicionou-se água destilada, garantindo a estabilização do material preparado para análise microscópica.

Com o objetivo de estabilizar e preservar os grãos de pólen, utilizou-se solução de água glicerinada (50% água destilada e 50% glicerina). O sedimento final foi incorporado à gelatina glicerinada, sendo montado em lâminas permanentes. A análise em microscopia óptica permitiu a descrição das características morfológicas — tipo de abertura, ornamentação da exina, forma e dimensões — segundo a terminologia padronizada internacionalmente (PUNT et al., 2007).

Esse procedimento possibilita a caracterização palinológica das espécies vegetais analisadas, contribuindo para estudos de taxonomia vegetal, ecologia reprodutiva e sistemática (SALGADO-LABOURIAU, 1973; PUNT et al., 2007).

A acetólise de Erdtman é um dos métodos mais utilizados para preparação de grãos de pólen, pois remove componentes celulares internos e materiais orgânicos menos resistentes, preservando a exina, que é a camada externa altamente resistente do pólen. Essa estrutura apresenta características morfológicas importantes para identificação taxonômica, como ornamentação, tipo de abertura e dimensões dos grãos. Segundo Erdtman, a mistura acetolítica composta por anidrido acético e ácido sulfúrico concentrado promove a digestão seletiva desses componentes orgânicos, permitindo a observação mais nítida das estruturas polínicas ao microscópio óptico.

Diversos autores posteriormente sistematizaram e consolidaram esse método em manuais de palinologia. Fægri e Iversen descrevem a acetólise como um procedimento essencial para a preparação de amostras polínicas destinadas à análise morfológica, destacando sua eficiência na remoção de materiais celulares e na preservação das características diagnósticas da exina. Da mesma forma, Salgado-

Labouriau enfatiza que a aplicação desse método em estudos palinológicos permite a obtenção de amostras limpas e adequadas para descrição morfológica detalhada, sendo amplamente utilizado em pesquisas taxonômicas e paleoecológicas. Mais recentemente, Punt e colaboradores reforçam que a correta preparação do material polínico é fundamental para a aplicação da terminologia padronizada na descrição das estruturas do pólen.

Dessa forma, o procedimento descrito no seu texto corresponde efetivamente a uma adaptação do método clássico de acetólise de Erdtman, amplamente utilizado em estudos de palinologia estrutural e melissopalynologia.

Figura 10 – J



Figura 11 – K

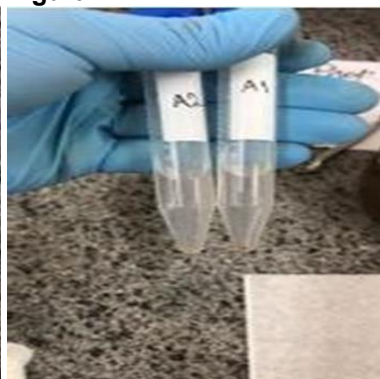


Figura 12 – L



Figura: “J”; “K”; “L” Foram feitas análises de acetólise dos botões florais. Seria o mesmo processo das amostras de mel onde cada amostra passou pela análise de acetólise tirando todo conteúdo citoplasmático do mel ficando só a parte dos grãos de pólen denominado de Exina.

(Fonte: Autoria própria)

4.13 Microscópia

A gelatina de Kisser consiste em um meio de montagem amplamente empregado em estudos palinológicos e análises microscópicas, sendo especialmente indicada para a confecção de lâminas permanentes (KISSER, 1935; JOHANSEN, 1940). A presença de fenol em sua composição exerce a função de agente conservante e desinfetante, atuando na prevenção do desenvolvimento de fungos e contribuindo para a maior durabilidade das lâminas preparadas (JOHANSEN, 1940).

Para a realização da análise microscópica, foi preparada a gelatina de Kisser, utilizada como meio de montagem das lâminas. A formulação seguiu proporções

tradicionalmente empregadas na literatura especializada em técnicas histológicas e palinológicas trabalhos acadêmicos conduzidos na Universidade Federal do Ceará, sob orientação da Dra. Cláudia Inês da Silva, que aplica protocolos baseados na literatura clássica internacional adaptados às condições laboratoriais nacionais. Utilizaram-se 7 g de gelatina pura, 25 mL de água destilada, 21,4 mL de glicerina e 1 g de fenol.

Inicialmente, a gelatina foi adicionada à água destilada e mantida em repouso por aproximadamente uma hora, a fim de promover sua completa hidratação. Em seguida, a mistura foi submetida ao aquecimento em banho-maria, com controle rigoroso da temperatura, não ultrapassando 50 °C, evitando-se a desnaturação da gelatina e perda da capacidade de gelificação (SASS, 1958). Após a dissolução completa, procedeu-se à adição da glicerina e, posteriormente, do fenol, com homogeneização cuidadosa até obtenção de solução uniforme.

Após o preparo, o meio de montagem foi armazenado sob refrigeração e protegido da luz, considerando a sensibilidade do fenol à degradação fotoquímica (JOHANSEN, 1940).

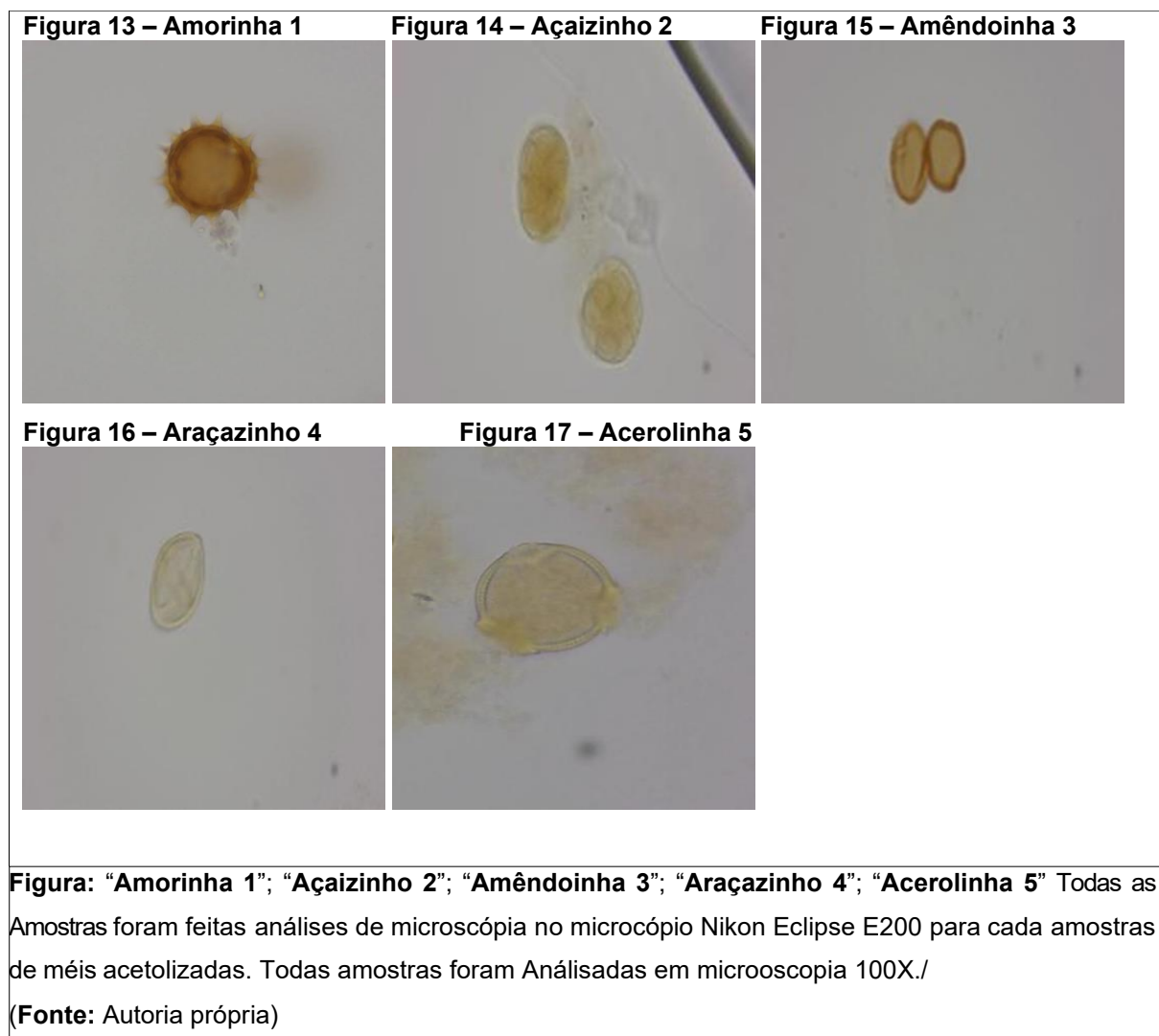
Para a análise dos grãos de pólen, alíquotas das amostras previamente submetidas à acetólise foram coletadas com pequeno fragmento de gelatina fixado em agulha histológica e transferidas para lâminas de microscopia contendo fina camada do meio de montagem. Os grãos foram distribuídos uniformemente e cobertos com lamínula, levemente pressionada para eliminação de bolhas de ar. Posteriormente, as lâminas foram seladas, assegurando a preservação do material para observação microscópica e documentação morfológica, conforme técnicas clássicas de preparação botânica (JOHANSEN, 1940; SASS, 1958).

- As análises microscópicas contemplaram as seguintes lâminas:
- Comparando pólen dos méis com os pólen das planata.

4.13.1 Pólen do mel

A análise microscópica dos grãos de pólen provenientes das amostras de mel “Amora 1”, “Açaí 2”, “Amêndoa 3”, “Araçá 4” e “Acerola 5” evidenciou estruturas morfológicas preservadas, ainda que com discretas variações decorrentes podendo

ser do processamento por acetólise. Mesmo com possíveis alterações volumétricas sutis, as características diagnósticas, como tipo apertural e ornamentação da exina, permaneceram nítidas e identificáveis. Todas as amostras foram visualizadas em objetiva de 100×, possibilitando adequada observação das estruturas exínicas e confirmação da origem botânica do mel analisado.



4.13.2 Pólens das plantas

Os grãos de pólen obtidos diretamente das anteras de botões florais em pré-antese apresentaram morfologia íntegra, sem interferências osmóticas ou alterações estruturais decorrentes do meio açucarado. As características morfológicas, incluindo forma, tipo de abertura e ornamentação exínica, mostraram-se bem definidas, servindo como padrão comparativo para validação taxonômica. Assim como nas

amostras de mel, todas as observações microscópicas foram realizadas em objetiva de 100×, garantindo adequada visualização das estruturas diagnósticas e confirmação tanto da identidade botânica quanto da correspondência entre o pólen das plantas e o pólen presente no mel.

Figura 18 – Ameixinha 1

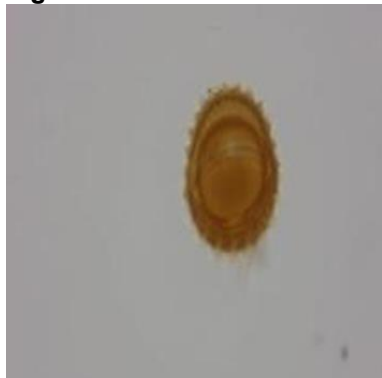


Figura 19 – Abacaxizinho 2



Figura 20 – Amêndoinzinho 3



Figura 21 – Ananasinho 4



Figura 22 – Abacatezinho 5



Figura: “Ameixinha 1”; “Abacaxizinho 2”; “Amêndoinzinho 3”; “Ananasinho 4”; “Abacatezinho 5”

Foram feitas análises de microscopia no microscópio Nikon Eclipse E200 das amostras dos botões florais acetolizadas. Todas essas amostras acima foram observadas em lente 100 x.

(Fonte: Autoria própria)

5. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS PÓLESN E MÉIS

As análises dos méis foram realizadas em parceria com a Centro de Pesquisa e Educação Científica da UEG - Anápolis. O pólen coletado conforme apresentado acima será mantido em tubos de falcon de 15 mL e serão realizados todos os p r o c e s s o s físico-químicos. Em conformidade também foram realizadas todas as análises físico-químicas do mel seguindo os procedimentos

analíticos foram realizados no laboratório Instituto Federal de Goiás seguindo as diretrizes e metodologias recomendadas pelo protocolo citado acima sobre o processo de acetólise.

Outras análises físico-químicas do mel seguirão o regimento do Ministério da Agricultura e Abastecimento, através da Instrução Normativa de 2000. Os parâmetros analisados foram as análises físico-químicas realizadas nas amostras de mel compreenderam a determinação da umidade (teor de água) e do grau °Brix, a quantificação de açúcares redutores, a avaliação do teor de acidez, a medição do pH, a determinação do teor de minerais (cinzas) e Refração. Adicionalmente, foram conduzidas análises microscópicas para a identificação e caracterização do conteúdo polínico presente nas amostras.

A determinação da umidade e do grau °Brix foi realizada por meio de refratômetro com compensação automática de temperatura (ATC). As análises microscópicas foram conduzidas em microscópio óptico Nikon. A mensuração do pH foi efetuada utilizando pHmetro digital da marca Del Lab, enquanto o teor de minerais foi determinado por incineração das amostras em forno mufla da marca GP Científico.

5.1 Análise do teor de acidez no mel

A análise do teor de acidez no mel consiste em medir a quantidade de ácidos orgânicos livres presentes na amostra. Esse parâmetro indica a qualidade e o grau de frescor do mel, já que valores elevados podem estar relacionados a fermentação ou deterioração do produto. Foram realizados em conformidade com a legislação do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) que estabelece limites por meio da Instrução Normativa nº 11/2000, onde determina que o mel deve apresentar acidez livre máxima de 50 mEq/kg. Esse parâmetro segue padrões internacionais definidos pelo Codex Alimentarius (FAO/OMS) e é adotado em normativas da União Europeia.

Figura 23 – Acide 1



Figura 24 – Acide 2



Figura 25 – Acide 3



Figura 26 – Acide 4



Figura: “Acide 1”, “Acide 2”, “Acide 3”, “Acide 4” Foram feitas análises de acidez das amostras de mel na perspectiva de avanços microbiológicos nas amostras de mel. Foram titulados 25 mL de NaOH a 0,1 Normalidade em cada amostras de mel, onde cada amostra de mel foi pesada 5 gramas de mel e diluído em 25 mL de água destilada e colocou de 3 a 4 gotas de fenoftaleína em cada amostra de mel.

(Fonte: Autoria própria)

5.2 Condutividade do mel

A condutividade elétrica do mel é um parâmetro amplamente utilizado na avaliação de sua qualidade e na diferenciação entre méis de origem floral e méis de melato, estando diretamente relacionada à concentração de sais minerais, ácidos orgânicos e proteínas presentes no produto. Valores mais elevados de condutividade elétrica geralmente indicam maior teor mineral, característica frequentemente observada em méis de melato (BOGDANOV; RUOFF; ODDO, 2004). Normas internacionais estabelecem que méis florais apresentam condutividade elétrica inferior a $0,8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, enquanto valores superiores estão associados a méis de

melato ou a determinados méis com maior conteúdo mineral (CODEX ALIMENTARIUS, 2001). Além disso, estudos realizados com méis brasileiros demonstram que esse parâmetro apresenta relação direta com a composição química e a origem botânica das amostras analisadas (SODRÉ et al., 2007).

Neste estudo, a análise da condutividade elétrica foi realizada com o objetivo de estimar a concentração de sais minerais, ácidos orgânicos e proteínas presentes nas amostras de mel. A determinação da condutividade foi realizada individualmente em cada amostra, utilizando equipamento previamente calibrado. Entre as análises sucessivas, o eletrodo foi cuidadosamente higienizado e esterilizado com álcool, a fim de evitar contaminação cruzada e garantir que os resultados obtidos para cada amostra não sofressem interferência de resíduos provenientes da análise anterior.

Figura 27 – Cond 1



Figura: “Cond 1” Foram realizadas análise de condutividade do mel no condutivimetro MS TECNOP Instrumentação em cada amostra foi analisada uma por uma e na mesma hora foi esterilizado o equipamento para que fosse realizado novas análises das outras amostras de condutividade.

(Fonte: Autoria própria)

5.3 Análise de pH dos méis

A determinação do pH do mel constitui um importante parâmetro na avaliação de sua qualidade, estabilidade e conservação. Esse parâmetro está diretamente relacionado à presença de ácidos orgânicos naturais, como o ácido glucônico, formados principalmente durante a atividade enzimática das abelhas sobre os açúcares do néctar. De modo geral, o mel apresenta caráter naturalmente ácido, característica que contribui

para sua estabilidade microbiológica e para a inibição do crescimento de microrganismos, incluindo leveduras responsáveis por processos fermentativos (BOGDANOV; RUOFF; ODDO, 2004; DA SILVA et al., 2016). Além disso, o pH do mel pode variar de acordo com sua origem botânica, composição química e condições de armazenamento, sendo, portanto, um indicador relevante na caracterização físico-química desse produto (SODRÉ et al., 2007).

Neste estudo, a análise de pH foi realizada com o objetivo de verificar o grau de acidez das amostras de mel. A determinação foi efetuada individualmente em cada amostra, de maneira semelhante ao procedimento adotado para a análise de condutividade elétrica, utilizando um pHmetro digital previamente calibrado. Entre as medições sucessivas, o eletrodo do equipamento foi cuidadosamente higienizado e esterilizado com álcool por ser muito frágil os eletrodos, com o objetivo de evitar contaminação cruzada entre as amostras e garantir que os resultados obtidos não sofressem interferência de resíduos provenientes das análises anteriores.

Figura 28 – Peg 1



Figura 29 – Peg 2



Figura: “Peg 1”; “Peg 2” foram realizadas análises de pH no pH Metro Digital Microprocessado Del Lab, onde cada amostra foi analisada uma por uma, e em seguida esterilizada para que pudesse analisar outras amostras.

(Fonte: Autoria própria)

5.4 Medição de refração das amostras de méis:

A análise por refração foi realizada com o objetivo de determinar parâmetros relacionados à composição do mel, como o teor de açúcares e o teor de água da amostra, os quais estão diretamente associados à qualidade, ao grau de maturação e

à estabilidade do produto. O método baseia-se na determinação do índice de refração do mel, propriedade óptica que varia de acordo com a concentração de sólidos solúveis presentes na amostra. Dessa forma, valores mais elevados de °Brix indicam maior concentração de açúcares e menor teor de água, enquanto valores menores indicam menor concentração de sólidos solúveis e maior conteúdo de água.

O teor de água do mel é considerado um dos principais parâmetros de qualidade, pois influencia diretamente sua estabilidade e susceptibilidade a processos fermentativos. De modo geral, méis com menor teor de água apresentam maior estabilidade durante o armazenamento, enquanto valores elevados de umidade podem favorecer a fermentação por leveduras osmofílicas (STONGA; FREITAS, 1991; SILVA; REBOUÇAS, 2012).

A determinação do teor de água em mel é tradicionalmente realizada por meio da medição do índice de refração utilizando refratômetro, com posterior conversão dos valores obtidos em porcentagem de umidade por meio de tabelas ou equações específicas. Esse método é amplamente empregado por ser rápido, preciso e exigir pequena quantidade de amostra (ISENGARD; SCHULTHEISS, 2003). Além disso, a refratometria é frequentemente utilizada em estudos de caracterização físico-química e controle de qualidade do mel, permitindo avaliar a concentração de sólidos solúveis e detectar possíveis alterações na composição do produto (GÜN; KARAOĞLU, 2024).

O procedimento analítico consistiu na aplicação de uma pequena quantidade de mel diretamente sobre o prisma do refratômetro, previamente limpo e seco. Em seguida, realizou-se a leitura do índice de refração da amostra, obtendo-se valores correspondentes ao teor de sólidos solúveis e à estimativa do teor de água presente no mel. Esse método tem sido amplamente utilizado em pesquisas envolvendo produtos apícolas e derivados, incluindo estudos de determinação de umidade por refratometria em diferentes matrizes biológicas (SESTA; LUSCO, 2008).

Méis analisados foram dos produtores: Sinésio, Chapadinha, Neidmar,

Figura 30 – Siné 1



Figura 31 – Chapadin 2



Figura 32 – Neiad 3



Figura 33 – Od 4



Figura 34 – Am 5

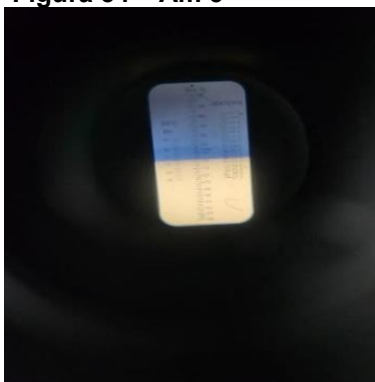


Figura: “Siné 1”; “Chapadin 2”; “Neia 3”; “Od 4”; “Am 5” São análises das amostras de mel por meio da refração por um equipamento denominado de refretômetro ATC onde o próprio equipamento analisará análises de Be° uma escala antiga, Brix porcentagem de açúcar e Water porcentagem de água compostos presentes no mel de cada produtor coletado que foi analisado.

(Fonte: Autoria própria)

5.5 Análise de teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas dos méis foi realizada inicialmente, os cadinhos de porcelana foram devidamente limpos, secos e pesados em balança analítica para obtenção da massa inicial. Em seguida, foram adicionados aproximadamente 4 g de mel em cada cadinho, referentes às amostras dos produtores Produtor “A”, Israel 3, João Batista 10, Maria Natal, Neusa Bandeira 2, João Mexerica, C. Eduardo, Odaí Rosa, Célio Alves 15 e Sinísio 14. Posteriormente, os cadinhos contendo as amostras foram levados a uma chapa aquecedora para que toda a água contida no mel seja evaporada e adiante, levado ao forno mufla, onde permaneceram por um período de 6 horas, à temperatura de 600 °C, até completa incineração da matéria orgânica em seguida, desligado ao ser carbonizado por 6 horas. Após esse período, os cadinhos foram retirados da mufla, resfriados em dessecador à temperatura ambiente e novamente pesados, permitindo a determinação da massa residual correspondente ao conteúdo mineral (cinzas). As cinzas obtidas foram armazenadas em recipientes adequados.

Figura 35 – Chap



Figura 36 – Murf



Figura 37 – Vid

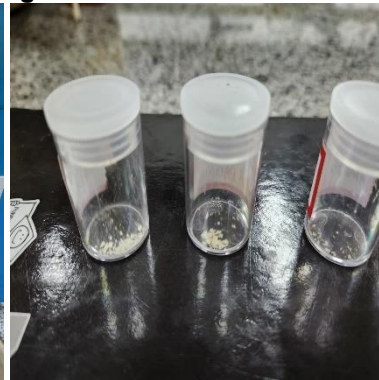


Figura 38 – Poti



Figura: “**Chap**” A análise foi realizada a caramelização do mel por mais ou menos 30 min na chapa aquecedora Nova Ètica.; “**Murf**” Análise foi realizado no forno mufla GP científica onde as amostras foram acondicionadas a uma temperatura de 600° C e deixado lá por 4 horas; “**Vid**” e “**Poti**” são méis já calcinados e guardados em pote acrílico de 5 mL.

(**Fonte:** Autoria Própria)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise melissopalínológica das amostras de mel coletadas nos apiários da Mesorregião de Anápolis evidenciou a presença de uma diversidade expressiva de tipos polínicos, com predominância de espécies pertencentes às famílias Fabaceae, Asteraceae, Myrtaceae e Oxalidaceae, típicas do bioma Cerrado. A identificação desses grãos de pólen permitiu confirmar a forte interação entre as abelhas e a vegetação nativa, demonstrando que os méis analisados refletem a composição florística regional.

A melissopalínologia é reconhecida internacionalmente como método consolidado para determinação da origem botânica do mel, permitindo classificar amostras como monoflorais ou multiflorais a partir da frequência relativa de grãos de pólen (VON DER OHE, W.; ODDO, L. P.; PIANA, M. L.; MORLOT, M.; MARTIN, P., 2004). O protocolo internacional proposto por esses autores continua sendo referência técnica para análise quantitativa e interpretação de espectros polínicos.

A diversidade polínica observada nas amostras indica predominância de méis multiflorais, característica comum em regiões de elevada heterogeneidade vegetal como o Cerrado. Esse padrão é esperado em biomas tropicais com alta diversidade florística, nos quais as abelhas exploram múltiplas fontes de néctar ao longo do período produtivo (BARTH, Ortrud Monika, 2004).

Essa diversidade botânica possui implicações diretas sobre a composição físico-química do mel, uma vez que o néctar de diferentes espécies vegetais apresenta variações naturais em açúcares, ácidos orgânicos, minerais e metabólitos secundários. A influência da origem floral sobre parâmetros como acidez, condutividade elétrica e teor mineral é amplamente documentada na literatura internacional (BOGDANOV, Stefan; RUOFF, Kathrin; ODDO, L. P., 2004).

Além disso, estudos de revisão recentes confirmam que a composição química do mel é resultado da interação entre fatores botânicos, ambientais e práticas de manejo apícola (DA SILVA, P. M.; GAUCHE, C.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R., 2016).

Quando correlacionados com os dados físico-químicos obtidos nas amostras dos produtores Produtor “A”, Israel 3 (B), João Batista 10, Maria Natal 17, Neusa Bandeira (F), João Mexerica, C. Eduardo, Odaí Rosa, Célio Alves 15 e Sinísio 14, observa-se que as variações laboratoriais acompanham, em parte, essa diversidade botânica.

Diferenças nos valores de pH, acidez livre e condutividade elétrica entre as amostras podem ser explicadas pela variação na composição do néctar das espécies predominantes e pelas características edafoclimáticas regionais, conforme demonstrado em estudos que associam perfil polínico e parâmetros físico-químicos como ferramentas complementares de caracterização e autenticação do mel (ANJOS, O.; CAMPOS, M. G.; RUIZ, P. C.; ANTUNES, P., 2015).

A integração entre análise melissopalínológica e caracterização físico-química, portanto, reforça a compreensão de que o mel produzido na Mesorregião de Anápolis

reflete a identidade florística do Cerrado, apresentando variabilidade compatível com méis multiflorais tropicais e dentro dos parâmetros reconhecidos internacionalmente para qualidade e autenticidade.

6.1 Caracterização da flora apícola identificada nos méis

A análise melissopalínológica das amostras de mel coletadas nos apiários da Mesorregião de Anápolis, provenientes dos produtores identificados como Produtor “A”, Neid, Jataí e B.E., indicou a presença de diferentes tipos polínicos associados principalmente às famílias Fabaceae, Asteraceae, Myrtaceae e Oxalidaceae, frequentemente registradas no bioma Cerrado. A observação microscópica das lâminas permitiu reconhecer variações na morfologia dos grãos de pólen, considerando características como tamanho, forma, ornamentação da exina e número de aberturas, aspectos utilizados na identificação taxonômica.

A ocorrência desses tipos polínicos pode sugerir a presença de espécies vegetais pertencentes a essas famílias no entorno das áreas de coleta, indicando possíveis fontes florais utilizadas pelas abelhas durante o forrageamento. De forma semelhante, a presença de grãos de pólen associados à família Asteraceae pode estar relacionada à utilização de recursos florais comuns em áreas abertas do Cerrado, enquanto os registros de Oxalidaceae podem indicar a diversidade de plantas visitadas pelas abelhas ao longo do período de coleta de néctar. A presença de grãos de pólen pertencentes às famílias Asteraceae e Oxalidaceae pode estar relacionada à ampla distribuição dessas famílias na paisagem regional, sem que isso permita inferir, de forma direta, a origem espacial específica do forrageamento. Tais registros apenas indicam a disponibilidade dessas espécies na área de influência das colônias.

Assim, a diversidade polínica observada nas amostras pode refletir, em certa medida, a variedade de espécies vegetais disponíveis na paisagem regional. Nesse contexto, a análise melissopalínológica contribui para inferir possíveis relações entre as abelhas e a flora local, auxiliando na compreensão da origem botânica do mel e fornecendo indicativos sobre a flora apícola presente na Mesorregião de Anápolis.

Figura 39 – Faba



Figura 40 – Myrt



Figura 41 – Aster

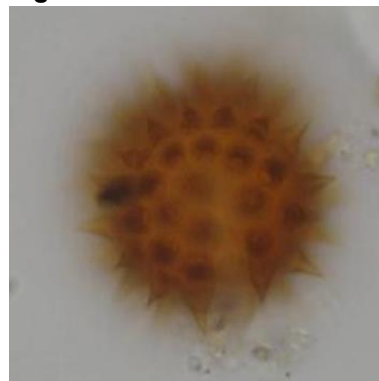


Figura: “**Faba**” Imagem de um pólen da família *Fabaceae*; “**Myrt**” Imagem de um pólen da família *Myrtaceae*; “**Aster**” Imagem de um pólen da família *Asteraceae* todas as imagens feitas no microscópio Nikon clipse E200 todas as imagens observadas na lente de 100 x.

(**Fonte:** Autoria própria)

6.2 Plantas semelhantes a famílias

Observou-se que as amostras de mel analisadas apresentaram diferentes tipos polínicos, com ocorrência frequente das famílias *Fabaceae*, *Myrtaceae*, *Oxalidaceae* e *Asteraceae*, o que pode indicar a ampla disponibilidade dessas unidades taxonômicas nas lâminas de determinadas amostras de mel. A presença desses grãos de pólen sugere possíveis interações entre as abelhas e a diversidade vegetal existente na área de estudo, considerando o contexto florístico do Cerrado, caracterizado por elevada heterogeneidade de espécies.

Como não foi realizada quantificação percentual dos tipos polínicos, não é possível estabelecer predominância numérica ou classificar as amostras como monoflorais. Dessa forma, os resultados obtidos permitem apenas inferências qualitativas sobre a composição polínica, refletindo a diversidade de recursos florais potencialmente acessados pelas colônias durante o período de coleta.

A variação na ocorrência dos tipos polínicos entre as amostras pode estar relacionada a fatores ambientais e sazonais, como disponibilidade de flores e condições climáticas. Assim, a análise melissopalínológica contribui para indicar possíveis relações entre as colônias e a flora local.

Figura 42 – Came

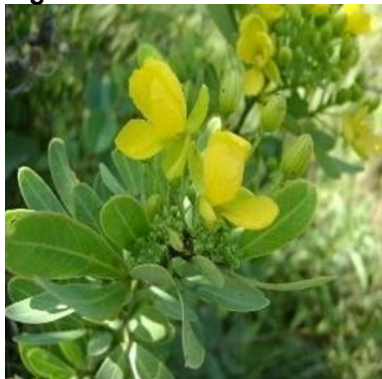


Figura 43 – Arvore Santo



Figura 44 – Pincel



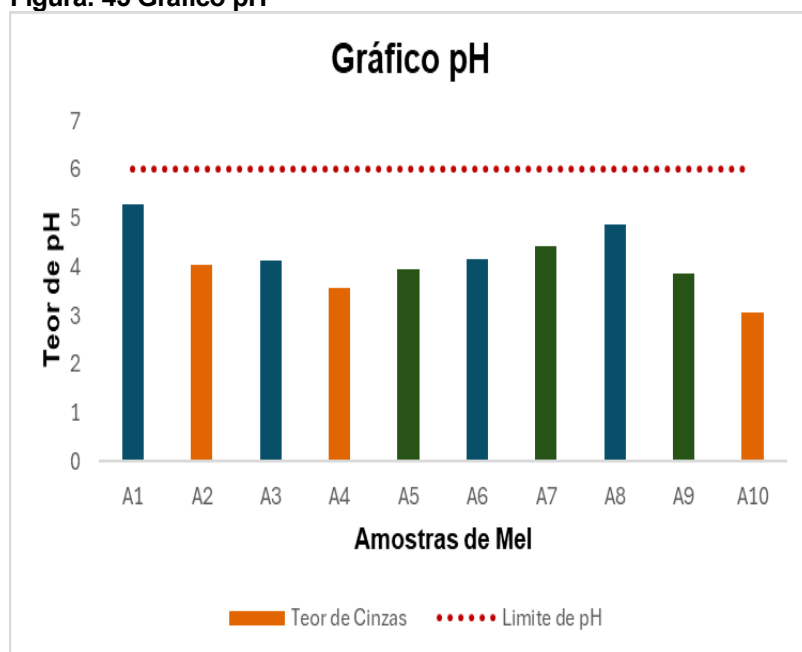
Figura: “Came”, “Arvore Santo” e “Pincel” Plantas fotografadas e coletadas os botões florais em pré-antese no cerrado da mesorregião de Anápolis situado em Gameleira de Goiás.

(Fonte: Autoria própria)

6.3 Gráfico de pH dos méis

A análise dos valores de pH das amostras de mel mostra que quase todos os méis estão dentro da faixa considerada adequada, entre 3,4 e 6,1, indicando boa qualidade. As amostras dos produtores “A”, Israel 3, João Batista 10, Maria Natal, Neusa Bandeira 2, João Mexerica, C. Eduardo, Odaí Rosa e Célio Alves 15 apresentaram pH compatível com o padrão esperado para o mel. Esses valores indicam um produto naturalmente ácido, o que contribui para sua estabilidade e conservação. A única exceção foi a amostra de Sinísio 14, que apresentou pH abaixo do limite mínimo. Esse resultado pode estar relacionado a características da florada ou a fatores do processamento. De forma geral, os méis analisados apresentaram pH adequado e boa qualidade.

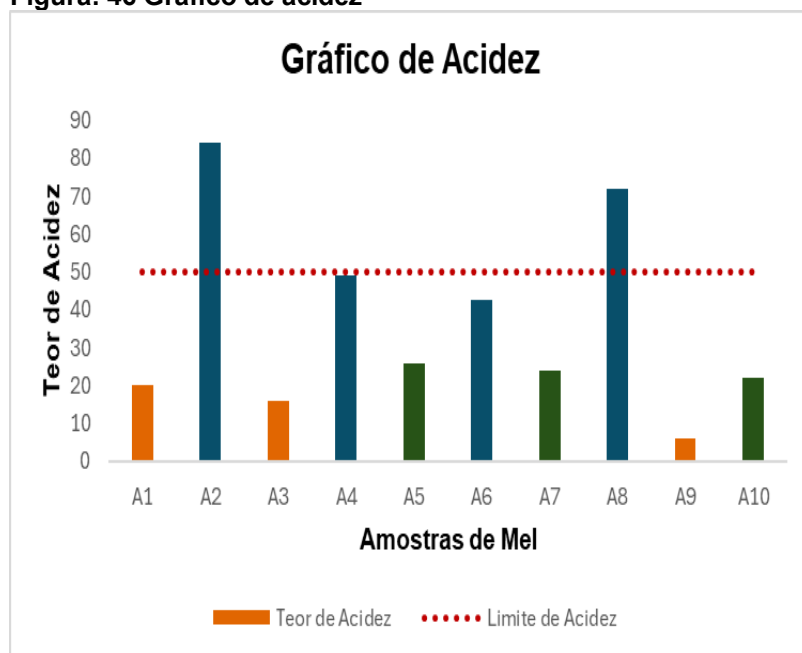
Figura: 45 Gráfico pH



6.4 Gráfico de acidez

A análise do gráfico de acidez mostra que a maioria das amostras de mel ficou dentro do limite máximo de 50 mEq/kg exigido pela legislação. Os méis dos produtores “A”, João Batista 10, Neusa Bandeira 2, João Mexerica, C. Eduardo e Célio Alves 15 apresentaram baixa acidez, indicando boa qualidade e condições adequadas de conservação. A amostra de Maria Natal ficou próxima ao valor limite, o que sugere a necessidade de maior cuidado no processamento e armazenamento. Por outro lado, os méis de Israel 3 e Odaí Rosa apresentaram acidez acima do permitido. Esses valores elevados podem estar relacionados à fermentação, maior umidade ou falhas no manejo após a colheita. De forma geral, os resultados mostram diferenças entre as amostras, ligadas às práticas adotadas por cada produtor e à origem do mel.

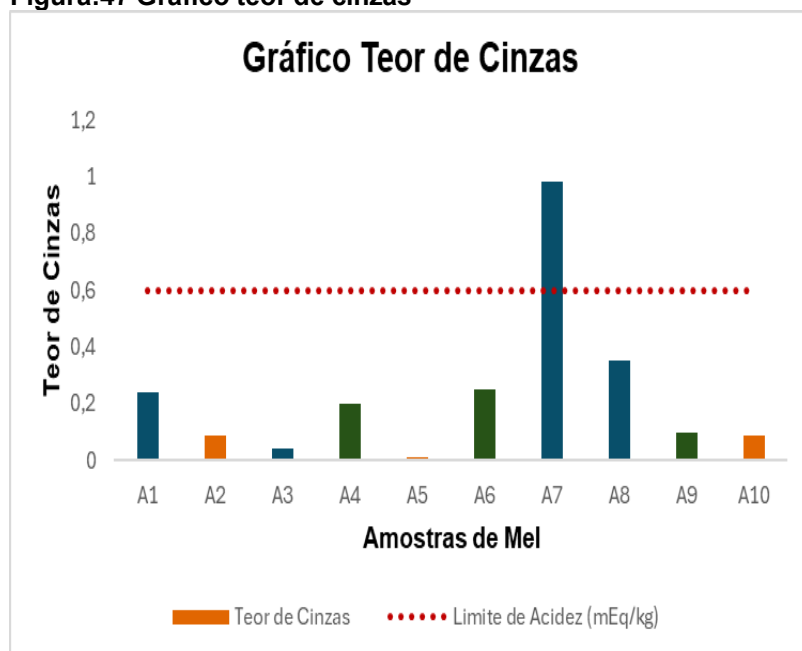
Figura: 46 Gráfico de acidez



6.5 Teor de cinzas nas amostras de mel

Os teores de cinzas das amostras de mel analisadas — Produtor “A”, Israel 3, João Batista 10, Maria Natal, Neusa Bandeira 2, João Mexerica, C. Eduardo, Odaí Rosa, Célio Alves 15 e Sinísio 14 — mantiveram-se abaixo do limite máximo de 0,6 gramas/100gramas estabelecido pelo Codex Alimentarius. Observou-se que amostras como C. Eduardo e Odaí Rosa apresentaram valores mais elevados de cinzas, enquanto Israel 3, João Batista 10, Célio Alves 15 e Sinísio 14 mostraram menores teores minerais. Essas variações estão relacionadas, principalmente, à origem botânica do mel, às características do solo e ao grau de maturação no momento da coleta. De modo geral, os resultados indicam que todas as amostras avaliadas estão em conformidade com os padrões internacionais de qualidade para mel.

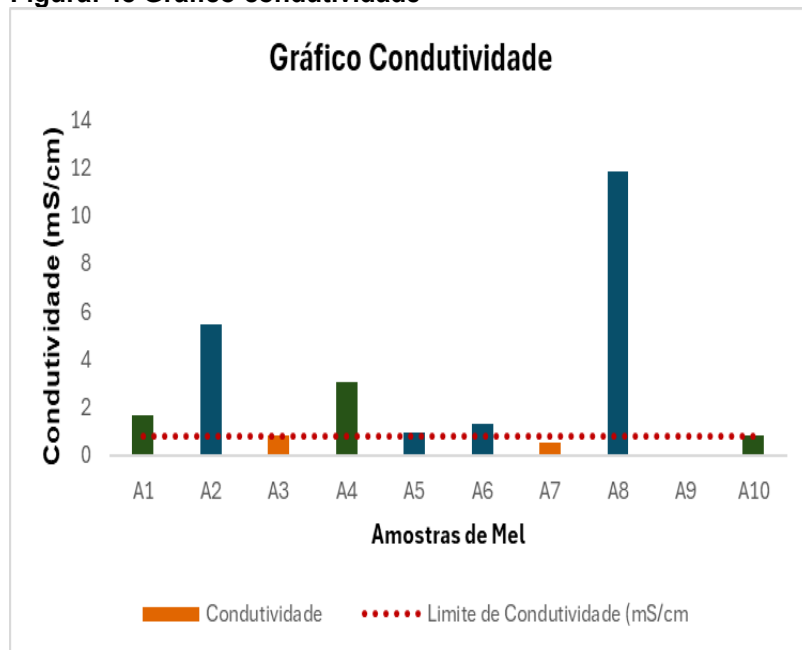
Figura:47 Gráfico teor de cinzas



6.6 Condutividade elétrica das amostras de mel (m/S/cm)

A análise da condutividade elétrica das amostras de mel mostra que parte dos méis apresentou valores acima do limite de 0,8 mS/cm. As amostras de Produtor “A”, Israel 3, João Batista 10, Maria Natal, Neusa Bandeira 2, João Mexerica, Odaí Rosa e Sinísio 14 ultrapassaram o valor de referência, indicando maior concentração de sais minerais ou possível influência da origem botânica. Entre essas, destaca-se Odaí Rosa, que apresentou condutividade muito elevada. Já os méis de C. Eduardo e Célio Alves 15 ficaram abaixo do limite estabelecido, estando dentro do padrão esperado. De forma geral, os resultados mostram variação entre as amostras, relacionada principalmente às características florais e ao ambiente de produção do mel.

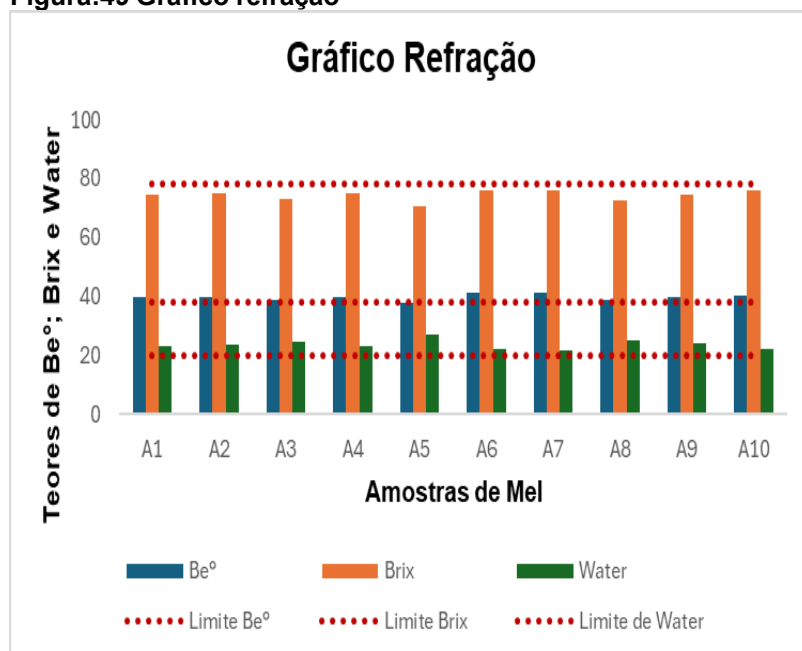
Figura: 48 Gráfico condutividade



6.7 Análise de refração das amostras de mel

A análise por refração das amostras de mel do Produtor “A”, Israel 3, João Batista 10, Maria Natal, Neusa Bandeira 2, João Mexerica, C. Eduardo, Odaí Rosa, Célio Alves 15 e Sinísio 14 mostrou valores de Be° , $^\circ Brix$ e teor de água compatíveis com os limites estabelecidos. As amostras do Produtor “A”, Israel 3, Maria Natal, Neusa Bandeira 2, Célio Alves 15 e Sinísio 14 apresentaram maiores valores de sólidos solúveis, indicando boa concentração de açúcares, enquanto João Mexerica registrou os menores valores, porém ainda dentro dos padrões aceitáveis. A amostra de C. Eduardo destacou-se pelo maior valor de Be° , sugerindo maior concentração do mel. Em relação ao teor de água, observaram-se variações entre as amostras, com valores mais elevados em João Batista 10, Odaí Rosa e Célio Alves 15, sem ultrapassar os limites recomendados. De modo geral, os resultados indicam que todas as amostras analisadas apresentam qualidade adequada e grau de maturação compatível com os padrões exigidos.

Figura:49 Gráfico refração



7. CONCLUSÃO

A análise integrada dos parâmetros físico-químicos apresentados na Tabela demonstra que as amostras de mel avaliadas atendem, em sua maioria, aos padrões de identidade e qualidade estabelecidos para méis florais. Os valores de pH mantiveram-se dentro da faixa naturalmente ácida característica do mel, condição associada à estabilidade microbiológica e à inibição do crescimento de microrganismos deteriorantes (BOGDANOV et al., 2008; DA SILVA et al., 2016). As variações observadas entre produtores refletem principalmente diferenças na origem botânica e nas condições edafoclimáticas, fatores reconhecidamente determinantes na composição química do mel (ANJOS; CAMPOS; RODRIGUES, 2015).

Quanto à acidez, a maior parte das amostras permaneceu dentro do limite máximo de 50 mEq/kg preconizado por normas internacionais, indicando adequado grau de maturação e ausência de fermentação significativa, embora valores pontualmente elevados possam estar associados ao teor de umidade ou ao manejo pós-colheita (CAC, 2019; ESCUREDO et al., 2011). Os teores de cinzas e a condutividade elétrica apresentaram variações compatíveis com a diversidade mineral

do néctar e do solo, sendo parâmetros amplamente utilizados na diferenciação botânica e geográfica do mel (OUCHEMOUKH et al., 2007).

A análise refratométrica evidenciou que apenas uma das amostras apresentou teor de água dentro da faixa recomendada internacionalmente (17% a 20%), enquanto as demais ultrapassaram 22%, valor superior ao limite preconizado para méis destinados à comercialização. Esse parâmetro é considerado um dos principais indicadores de qualidade, uma vez que teores elevados de umidade favorecem processos fermentativos e reduzem a estabilidade do produto (CAC, 2019; DA SILVA et al., 2016). Valores acima do recomendado podem estar associados à colheita precoce dos favos, elevada umidade ambiental ou armazenamento inadequado após a extração (BOGDANOV et al., 2008).

Dessa forma, embora parte dos parâmetros físico-químicos tenha demonstrado conformidade com os critérios técnicos vigentes, o teor de água elevado na maioria das amostras representa um ponto crítico de controle, demandando maior rigor no manejo e no processamento para assegurar a estabilidade, a segurança e a qualidade comercial do mel (ESCUREDO et al., 2011).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, G. G.; TOLA, Y. B.; KUYU, C. G. Assessment of physicochemical and microbiological characteristics of honey in southwest Ethiopia: detection of adulteration through analytical simulation. *Journal of Food Protection*, v. 87, n. 1, p. e100194, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100194>.

AILLI, A. et al. Physicochemical characterization of Moroccan honey varieties from the Fez-Meknes region and their antioxidant and antibacterial properties. *Metabolites*, v. 14, n. 7, p. 364, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo14070364>.

AL-KAFAWEEN, M. A.; ALWAHSH, M.; HILMI, A. B. M.; ABULEBDAH, D. H. Physicochemical characteristics and bioactive compounds of different types of honey and their biological and therapeutic properties: a comprehensive review. *Antibiotics*, v. 12, n. 2, p. 337, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020337>.

ALBU, A.; BORA, F. D.; CUCU-MAN, S.-M.; STOLERU, V.; NISTOR, C.-E.; BRUMĂ, I. S.; RUSU, O.-R. Assessing honey quality: a focus on some physicochemical parameters of honey from Iasi County (Romania). *Agriculture*, v. 15, n. 3, p. 333, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15030333>.

AL-GHAMDI, S. et al. Physicochemical properties of honey and honey-like foods and their impact on *Escherichia coli* survival: a comparative study. *Food Chemistry Advances*, v. 4, p. 100891, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100891>.

ALLEN, K. L.; MOLAN, P. C.; REID, G. M. A survey of the antibacterial activity of some New Zealand honeys. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, v. 43, p. 817–822, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1991.tb03186.x>.

AL-MAMARY, M.; AL-MEERI, A.; AL-HABORI, M. Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutrition Research*, v. 22, n. 9, p. 1041–1047, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(02\)00406-2](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(02)00406-2).

AL, M. L. et al. Antioxidant activity of honeys from different floral sources. *Food Chemistry*, v. 112, n. 4, p. 1030–1034, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.032>.

ANKLAM, E. A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, v. 63, n. 4, p. 549–562, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00057-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00057-0).

ANJOS, O.; CAMPOS, M. G.; RUIZ, P. C.; ANTUNES, P. Neural networks applied to discriminate botanical origin of honeys. *Food Chemistry*, v. 175, p. 128–136, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.121>.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis of AOAC International*. 20. ed. Gaithersburg: AOAC

International, 2016.

AZEREDO, L. C.; AZEREDO, M. A. A.; SOUZA, S. R.; DUTRA, V. M. L. Protein contents and physicochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins. *Food Chemistry*, v. 80, n. 2, p. 249–254, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00261-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00261-3).

BARTH, O. M. Melissopalynology in Brazil: a review of pollen analysis of honeys, propolis and pollen loads of bees. *Scientia Agricola*, v. 61, n. 3, p. 342–350, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000300018>.

BEEKMAN, M.; RATNIEKS, F. L. W. Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Functional Ecology*, v. 14, n. 4, p. 490–496, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00443.x>.

BELITZ, H.-D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. *Food chemistry*. 4. ed. Berlin: Springer, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>.

BERETTA, G. et al. Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric/fluorimetric assays and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, v. 533, n. 2, p. 185–191, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.11.010>.

BOGDANOV, S. Honey composition. Bern: Bee Product Science, 2009.

Disponível em: <https://www.bee-hexagon.net>. Acesso em: 5 mar. 2026.

BOGDANOV, S.; MARTIN, P.; LÜLLMANN, C. Harmonised methods of the International Honey Commission. *Apidologie*, v. 28, p. 1–59, 1997.

BOGDANOV, S.; JÜRGENS, S.; SIEBER, R.; GALLMANN, P. Honey for nutrition and

health: a review. *Journal of the American College of Nutrition*, v. 27, n. 6, p. 677–689, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719745>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 out. 2000.

BRIDSON, D.; FORMAN, L. *The herbarium handbook*. 3. ed. Kew: Royal Botanic Gardens, 1998.

BRODSCHNEIDER, R.; CRAILSHEIM, K. Nutrition and health in honey bees.

Apidologie, v. 41, n. 3, p. 278–294, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1051/apido/2010012>.

BRYANT, V. M.; JONES, G. D. The R-value: a method for determining the

relative importance of nectar sources in honey. *Apidologie*, v. 32, n. 4, p. 361–372, 2001.

CAMARGO, R. C. R.; PEREIRA, F. M.; LOPES, M. T. R. *Produção de mel*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002.

CASTRO-VÁZQUEZ, L. et al. Botanical origin and characterization of monofloral honeys by volatile compounds. *Food Chemistry*, v. 148, p. 444–450, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.037>.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. *Standard for honey (CXS 12-1981)*. Rome: FAO/WHO, 2001.

CRANE, E. *The archaeology of beekeeping*. London: Duckworth, 1983.

DA SILVA, P. M. et al. Honey: chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, v.196, p. 309–323, 2016. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>.

DOS SANTOS, M. M. et al. Antioxidant activity, physicochemical and sensory properties of stingless bee honey from Australia. *Foods*, v. 13, n. 11, p. 1657, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13111657>.

DONER, L. W. The sugars of honey: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 28, p. 443–456, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740280508>.

ELAMINE, Y. et al. Electrical impedance spectroscopy for potassium content analysis and botanical origin identification of honey. *Food Chemistry*, v. 453, p. 139605, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139605>.

EMBRAPA. *Apicultura e produção de mel no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2023. ERDTMAN, G. The acetolysis method: a revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift*, v. 54, p. 561–564, 1960.

ESCRICHE, I.; JUAN-BORRÁS, M. Standardizing the analysis of honey composition for the authentication of its botanical origin. *Food Research International*, v. 62, p. 752–759, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.031>.

ESCUREDO, O.; SEIJO, M. C. Honey: chemical composition, stability and authenticity. *Foods*, v. 8, n. 11, p. 577, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8110577>.

ESCUREDO, O. et al. Physicochemical properties and pollen profile of oak honeydew and floral honeys from north-western Spain. *Food Chemistry*, v. 141, p. 292–298, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.055>.

ESCUREDO, O. et al. Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. *Food Chemistry*, v. 152, p. 121–130, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.142>.

ESCUREDO, O. et al. Multivariate statistical approach for the discrimination of honey samples from Galicia (NW Spain) using physicochemical and pollen parameters. *Foods*, v. 12, n. 7, p. 1493, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12071493>.

ESTEVINHO, L. et al. Antioxidant and antimicrobial effects of phenolic compounds extracts of Northeast Portugal honey. *Food and Chemical Toxicology*, v. 46, p. 3774–3779, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.09.062>.

FAEGRI, K.; IVERSEN, J. *Textbook of pollen analysis*. 4. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1989.

FALEIROS-QUEVEDO, M.; FRANCOY, T. M. Stingless bees honeys: physicochemical characterization, difficulties and challenges. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, e28996128996, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28996>.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. Rome: FAO, 2019.

FINOLA, M. S.; LASAGNO, M. C.; MARIOLI, J. M. Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. *Food Chemistry*, v. 100, n. 4, p. 1649–1653, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.046>.

FORREST, J.; THOMSON, J. D. An examination of synchrony between insect emergence and flowering in Rocky Mountain meadows. *Ecology Letters*, v. 14, n. 10, p. 993–1000, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01664.x>.

FRANCOY, T. M. et al. Authentication of honey using different analytical approaches. *Food Chemistry*, v. 211, p. 142–148, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.068>.

FREITAS, E. P. B. et al. Physicochemical characterization of honey produced in Ilha de Marajó, Pará. *Research, Society and Development*, v. 11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26532>.

GAJEK, M.; MOJ, K.; WYSOCKI, P.; KUŚMIEREK, E.; SZYNKOWSKA-JÓŹWIK, M. I. Analysis of changes in selected physicochemical parameters and elemental composition of honey as a result of adulteration with sugar additives. *Foods*, v. 15, n. 3, p. 562, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods15030562>.

GARIBALDI, L. A. et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, v. 339, n. 6127, p. 1608–

1611, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1230200>.

GHELDOLF, N.; WANG, X.; ENGESETH, N. J. Identification and quantification of antioxidant components of honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 21, p. 5870–5877, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0256135>.

GIANNINI, T. C. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PLoS ONE*, v. 12, n. 8, e0182274, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182274>.

GÖTTLINGER, M.; LOHAUS, G. Amino acids in floral nectar: ecological and physiological functions. *Plant Biology*, v. 24, n. 3, p. 487–497, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.13405>.

GRABEK-LEJKO, D.; MIŁEK, M.; DŽUGAN, M. The comparison of the antioxidant, antibacterial and antiviral potential of Polish fir honeydew and Manuka honeys. *Scientific Reports*, v. 14, art. 31170, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82429-0>.

GÜN, R.; KARAOĞLU, M. M. Detection of honey adulteration by characterization of the physicochemical properties of honey adulterated with the addition of glucose– fructose and maltose corn syrups. *European Food Research and Technology*, v. 250, p. 2255–2272, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04535-7>.

HERNANDEZ, J. C. The physicochemical parameters, phenolic content, and antioxidant activity of honey from stingless bees and *Apis mellifera*: a systematic review and meta-analysis. *Antioxidants*, v. 13, n. 12, p. 1539, 2024.

HESSE, M. et al. *Pollen terminology: an illustrated handbook*. Vienna: Springer, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-211-79848-4>.

HUYOP, F. et al. Physicochemical and antioxidant properties of *Apis cerana* honey from Lombok and Bali Islands. *PLoS ONE*, v. 19, n. 4, e0301213, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301213>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da pecuária municipal 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. et al. *Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices*. Ribeirão Preto: Holos, 2012.

INSHA, R. A. N. et al. Comprehensive honey authentication in Bangladesh: profiling physicochemical and bioactive compounds to distinguish floral sources and detect adulteration. *Heliyon*, v. 10, n. 21, e40203, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40203>.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). *Polinizadores e biodiversidade: importância ecológica das abelhas*. Brasília: ICMBio, 2023.

IPBES — INTERGOVERNMENTAL SCIENCE - POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. *The assessment report on pollinators, pollination and food production*. Bonn: IPBES, 2016. Disponível em: <https://ipbes.net/assessment-reports/pollinators>. Acesso em: 5 mar. 2026.

ISENGARD, H.-D.; SCHULTHEISS, D. Water determination in honey—Karl Fischer titration, an alternative to refractive index measurements? *Food Chemistry*, v. 82, n. 1, p. 151–154, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00543-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00543-5).

IURLINA, M. O.; FRITZ, R. Characterization of microorganisms in Argentinean honeys from different sources. *International Journal of Food Microbiology*, v. 105, n. 3, p. 297–304, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.03.017>.

Jl, P. et al. Natural crystallization properties of honey and seed crystals-induced crystallization process for honey performance enhancing. *Food Chemistry*, v. 405, art. 134972, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134972>.

JOHANSEN, D. A. *Plant microtechnique*. New York: McGraw-Hill, 1940.

JONES, G. D.; BRYANT, V. M. The use of pollen analysis in the authentication of honey. *Palynology*, v. 38, n. 2, p. 219–232, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2013.873060>.

KARABAGIAS, I. K. et al. Botanical discrimination of Greek unifloral honeys with physicochemical and chemometric analyses. *Food Chemistry*, v. 217, p. 505–514, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.123>.

KARABAGIAS, I. K. et al. Honey authenticity and botanical origin determination using physicochemical parameters and chemometrics. *Food Chemistry*, v. 405, art. 134825, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134825>.

KEVAN, P. G.; PHILLIPS, T. P. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. *Conservation Ecology*, v. 5, n. 1, art. 8, 2001. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-00272-050108>.

KIILL, L. H. P.; SANTOS, F. A. R. *Plantas visitadas por abelhas no semiárido brasileiro*. Recife: Editora Universitária UFPE, 2012.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

KRESS, W. J.; ERICKSON, D. L. A two-locus global DNA barcode for land plants: the coding *rbcL* gene complements the non-coding *trnH-psbA* spacer region. *PLoS ONE*, v. 2, n. 6, e508, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000508>.

KÜÇÜK, M. et al. Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia. *Food Chemistry*, v. 100, n. 2, p. 526–534, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.010>.

LAVINAS, F. C. et al. Discriminant analysis of Brazilian stingless bee honey reveals an iron-based biogeographical origin. *Foods*, v. 12, n. 1, p. 180, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12010180>.

LICO, J. C. T. et al. Quality of honey from stingless bees in urban area in Goiás, Brazil. *Brazilian Journal of Science*, v. 2, n. 7, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i7.347>.

LIU, Q. et al. Advances in honey composition analysis and authentication using chemical markers and multivariate approaches. *Food Chemistry*, v. 431, art. 137213, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137213>.

LOLLI, M. et al. Classification of Italian honeys by 2D HR-NMR. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, v. 56, n. 4, p. 1298–1304, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf072763c>.

LOUVEAUX, J.; MAURIZIO, A.; VORWOHL, G. Methods of melissopalynology. *Bee World*, v. 59, n. 4, p. 139–157, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1978.11097714>.

LUCA, L.; PAULIUC, D.; OROIAN, M. Honey microbiota, methods for determining the microbiological composition and the antimicrobial effect of honey – a review. *Food Chemistry: X*, v. 23, p. 101524, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101524>.

LUCA, L.; PAULIUC, D.; URSACHI, F.; OROIAN, M. Physicochemical parameters, microbiological quality, and antibacterial activity of honey from the Bucovina region of Romania. *Scientific Reports*, v. 15, p. 4358, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88613-0>.

LUTZ, Adolf. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MACHADO-DE-MELO, A. A.; ALMEIDA- MURADIAN, L. B.; SANCHO, M.T.; PASCUAL-MATÉ, A. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: a review. *Journal of Apicultural Research*, v. 57, n. 1, p. 5–37, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444>.

MANICKAVASAGAM, G. et al. Impact of prolonged storage on quality

assessment properties and constituents of honey: a systematic review. *Journal of Food Science*, v. 89, n. 5, e16921, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16921>.

MARCHINI, L. C.; MORETI, A. C. C. C.; OTSUK, I. P. *Análise físico-química de méis de Apis mellifera L. provenientes de diferentes regiões do Brasil*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. *Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel*. Brasília: MAPA, 2023.

MELHEM, T. S. et al. *Variabilidade polínica em plantas de Campos do Jordão*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2003.

MENDONÇA, K. et al. Flora apícola e recursos florais utilizados por abelhas em áreas de Cerrado. *Revista Brasileira de Apicultura*, v. 39, n. 2, p. 45–58, 2019.

MOHAMADZADE NAMIN, S.; GHOSH, S.; JUNG, C. Honey quality control: review of methodologies for determining origin. *Molecules*, v. 28, n. 15, p. 5879, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28155879>.

MOLAN, P. C. The antibacterial activity of honey. 1. The nature of the antibacterial activity. *Bee World*, v. 73, n. 1, p. 5–28, 1992. DOI:

<https://doi.org/10.1080/0005772X.1992.11099109>.

MOLAN, P. C. The potential of honey to promote oral wellness. *General Dentistry*, v. 49, n. 6, p. 584–589, 2001.

MORELLATO, L. P. C. et al. Phenology of Atlantic forest trees. *Biotropica*, v. 42, n. 6, p. 627–634, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00652.x>.

MORENO-SANTISTEBAN, R. et al. Melissopalinalogical analysis, physicochemical properties, and chemical composition of *Apis mellifera* and *Melipona mandacaia* honey from the Brazilian semi-arid region. *ACS Food Science & Technology*, v. 5, n. 6, p. 2139–2155, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c01075>.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002501>.

NAVES, K. et al. Physicochemical study of honeys sold in the city of Rio Verde, Goiás, Brazil. *Brazilian Journal of Science*, v. 2, n. 5, p. 19–28, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i5.366>.

NICOLSON, S. W.; NEPI, M.; PACINI, E. (ed.). *Nectaries and nectar*. Dordrecht: Springer, 2007.

NUNES, A. et al. Physicochemical analysis of floral honeys produced by *Apis mellifera* in southern Brazil. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 23, n. 1, p. 106–116, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712312024106>.

OLAITAN, P. B.; ADELEKE, O. E.; OLA, I. O. Honey: a reservoir for microorganisms and an inhibitory agent for microbes. *African Health Sciences*, v. 7, n. 3, p. 159–165, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5555/afhs.2007.7.3.159>.

OROIAN, A.; ROPCIUC, S. Honey authentication based on physicochemical parameters and chemometrics. *Food Chemistry*, v. 206, p. 68–75, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.004>.

ÖZBAY, M.; ARSLAN, F. N.; GÖRÜR, G. Determination of quality characteristics of some monofloral, polyfloral and honeydew honeys in terms of physical properties and proline content. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, v. 13, n. 4, p. 1201–1206, 2024. DOI: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1503821>.

PERSANO ODDO, L.; BOGDANOV, S. Determination of honey botanical origin: problems and issues. *Apidologie*, v. 35, p. S2–
<https://doi.org/10.1051/apido:2004045>.

PIANA, M. L. et al. Sensory analysis applied to honey: state of the art. *Apidologie*, v. 35, p. S26–S37, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1051/apido:2004040>.

POLATIDOU, K. et al. Physicochemical and rheological characteristics of honeys from different botanical origins: impact of moisture content and water activity on yeast- mediated fermentation. *Foods*, v. 14, n. 10, p. 1835, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14101835>.

PUNT, W. et al. Glossary of pollen and spore terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 143, p. 1–81, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>.

RAWEH, H. S. A. et al. Physicochemical composition of local and imported honeys associated with quality standards. *Foods*, v. 12, n. 12, p. 2363, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12122363>.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa, 2008. p. 151–212.

RIBEIRO, R. J. et al. Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante do mel de *Apis mellifera* do oeste do Paraná, Brasil. 2023. DOI: <https://doi.org/10.22571/2526-4338585>.

ROUBIK, D. W. *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

RUSSMANN, H. et al. Honey quality and international regulatory standards: review by the International Honey Commission. *Bee World*, v. 80, n. 2, p. 61–69, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/0005772X.1999.11099428>.

RUIZ-MATUTE, A. I. et al. Strategies based on carbohydrate analysis for detection of honey adulteration. *Food Chemistry*, v. 121, n. 3, p. 560–568, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.097>.

ŞAHİN DEMİREL, A. N. et al. Investigating the impact of climate variables on the organic honey yield in Turkey using XGBoost machine learning. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 105, n. 1, p. 84–92, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.13806>.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. *Contribuição à palinologia dos cerrados*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1973.

SANTISTEBAN, R. M. et al. Melissopalynological analysis, physicochemical properties, and chemical composition of *Apis mellifera* and *Melipona mandacaia* honey from the Brazilian semi-arid region. *ACS Food Science & Technology*, v. 5, n. 6, p. 2139–2155, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c01075>.

SANTOS, G. M. M.; MEDEIROS, M. G. F. Abelhas como bioindicadoras da qualidade ambiental. *EntomoBrasilis*, v. 6, n. 3, p. 215–221, 2013.

SEELEY, T. D. *The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies*. Cambridge: Harvard University Press, 1995.

ŞENGÜL, Z. et al. Investigating the impact of climate parameters on honey yield under migratory beekeeping conditions through decision tree analysis: the case of İzmir Province. *ANADOLU Journal of Aegean Agricultural Research Institute*, v. 33, n. 2, p. 268–280, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18615/anadolu.1394787>.

SESTA, G.; LUSCO, L. Refractometric determination of water content in royal jelly. *Apidologie*, v. 39, p. 225–232, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1051/apido:2007053>.

SILICI, S.; YILMAZTÜRK, S. Bioactive and physicochemical properties of Anatolian honeys. *Journal of Agricultural Sciences*, v. 31, n. 3, p. 725–731, 2025. DOI: <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1591678>.

SILVA, C. I.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Pollen analysis of bee products. *Grana*, v. 55, p. 76–85, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00173134.2015.1108991>.

SILVA, M. S. et al. Microorganisms in honey. In: TOLEDO, V. de A. A. (ed.). *Honey analysis*. London: IntechOpen, 2017. p. 233–258. DOI: <https://doi.org/10.5772/67262>.

SILVA, P. M. et al. Physicochemical characteristics of honey from different regions of Brazil. *Food Chemistry*, v. 196, p. 309–315, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.065>.

SILVA, S.; REBOUÇAS, M. M. Umidade do mel de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) em Roraima, Brasil. *Boletim do Museu Integrado de Roraima*, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 35–40, 2012. DOI: <https://doi.org/10.24979/bolmirr.v6i01.740>.

SIMPSON, M. G. *Plant systematics*. 2. ed. Burlington: Academic Press, 2010. SINGH, N.; BATH, P. K. Quality evaluation of different types of Indian honey. *Food Chemistry*, v. 58, p. 129–133, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00231-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00231-2).

SCHAFFEL, I. de F. et al. Physicochemical properties and antioxidant capacity of honey from honey bee (*Apis mellifera*): spectrophotometric and electrochemical assay. *ACS Omega*, 2025.

SNOWDON, J. A.; CLIVER, D. O. Microorganisms in honey. *International Journal of Food Microbiology*, v. 31, p. 1–26, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)00970-1](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)00970-1).

SODRÉ, G. S. et al. Caracterização físico-química e análise polínica de amostras de mel de *Apis mellifera* L. provenientes do Cerrado brasileiro. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 3, p. 752–758, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300032>.

SOARES, S. et al. Comprehensive characterization of phenolic compounds in honey by high-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, v. 197, p. 1172– 1180, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.084>.

SOUZA, B. A.; CARVALHO, C. A. L.; ALVES, R. M. O. Caracterização do mel produzido por espécies de *Melipona* do Nordeste do Brasil: características físico- químicas. *Química Nova*, v. 32, n. 2, p. 303–308, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000200007>.

STEFFAN-DEWENTER, I.; KUHN, A. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 270, n. 1515, p. 569–575, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2292>.

STONGA, V. I.; FREITAS, R. J. S. Conteúdo de água e açúcares em mel de abelha. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 9, n. 1, 1991. DOI: <https://doi.org/10.5380/cep.v9i1.14456>.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, n. 4, art. 0099, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>.

SUÁREZ-LUQUE, S. et al. Rapid determination of minority organic acids in honey by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, v. 955, p. 207–214, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(02\)00248-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(02)00248-0).

TERRAB, A. et al. Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and pollen analysis. *Food Chemistry*, v. 81, n. 4, p. 537–542, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00437-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00437-5).

TERRAB, A.; GONZÁLEZ, A. G.; DíEZ, M. J.; HEREDIA, F. J. Mineral content and electrical conductivity of honeys produced in Northwest Morocco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 83, n. 7, p. 637–643, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.1341>.

TESFAYE, B. et al. Honey quality evaluation and botanical origin assessment using analytical approaches. *Heliyon*, v. 10, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28185>.

TONIAZZO, T. et al. Evaluation of physicochemical properties of honey powder using rice and pea proteins as carriers. *Food Research International*, v. 167, art. 112692, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112692>.

TRUZZI, C. et al. Use of chemometric techniques for the characterization of Italian honeys according to their botanical origin. *Food Chemistry*, v. 251, p. 60–67, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.083>.

TUBEROSO, C. I. G. et al. Floral markers of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 1, p. 384–389, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9024147>.

UNDERSTANDING the physicochemical profile of honey: a comprehensive review of quality and authenticity parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 151, art. 108993, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.108993>.

VINCZE, C. et al. A review of short-term weather impacts on honey production. *International Journal of Biometeorology*, v. 69, n. 2, p. 303–

317, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02824-0>.

VON DER OHE, W. et al. Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, v. 35, p. S18–S25, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1051/apido:2004050>.

WALKER, M. J. et al. Honey authenticity: the opacity of analytical reports – part 1 defining the problem. *npj Science of Food*, v. 6, art. 11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00126-6>.

WHITE JR., J. W. Honey. *Advances in Food Research*, v. 24, p. 287–374, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60108-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60108-1).

WHITE JR., J. W. Composition of honey. In: CRANE, E. (ed.). *Honey: a comprehensive survey*. London: Heinemann, 1979. p. 157–206.

WILCZYŃSKA, A. et al. Preliminary studies on the use of an electrical method to assess the quality of honey and distinguish its botanical origin. *Applied Sciences*, v. 14, art. 12060, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142412060>.

WINFREE, R. et al. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, v. 90, n. 8, p. 2068–2076, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1890/08-1245.1>.

WINSTON, M. L. *The biology of the honey bee*. Cambridge: Harvard University Press, 1987.

YU, W. et al. Chemical composition and anti-inflammatory activities of Castanopsis honey. *Food & Function*, v. 14, p. 250–261, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2FO02233H>.

ZAPATA-HERNÁNDEZ, G. et al. Advances and knowledge gaps on climate change impacts on honey bees and beekeeping: a systematic review. *Global Change Biology*, v. 30, n. 3, e17219, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.17219>.