Ciência Animal Brasileira
Brazilian Animal Science

DOI: 10.1590/1809-6891v27e-86695P

e-ISSN 1809-6891
Medicina veterinária | Artigo científico

Impacto da origem botânica na composição química de méis monoflorais amazônicos produzidos por *Apis melífera*

[Impact of botanical origin on the chemical composition of Amazonian monofloral honey produced by *Apis mellifera*]

Jheymyson de Sousa Cunha[1], Wenderson Oliveira da Silva[1], Mauricio Evangelista da Silva[1], Maricely Janette Uria Toro[2]

1 Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará, Brasil
2 Universidade do Estado do Pará (UEPA), Belém, Pará, Brasil

*autor correspondente: jheymyson.cunha@itec.ufpa.br

Recebido: 08 de julho de 2026. Aceito: 08 de setembro de 2026. Publicado: 01 de outubro de 2026.
Editor: Luiz Augusto B. Brito

Resumo: A apicultura desempenha um papel significativo na economia do norte do Brasil, sendo o mel o principal produto. Devido à sua vasta biodiversidade, a região amazônica oferece uma ampla variedade de fontes florais para a produção de mel. O mel monofloral é obtido predominantemente do néctar de uma única espécie floral, conferindo características distintas como cor, aroma e sabor. Portanto, este estudo teve como objetivo analisar e comparar três amostras de mel de *Apis mellifera* coletadas no estado do Pará: méis monoflorais de açaí (*Euterpe oleracea*), laranjeira (*Citrus* × *sinensis*) e mangue (*Rhizophora mangle* L.). A análise polínica foi realizada para identificar a origem botânica e confirmar a classificação monofloral. As amostras foram avaliadas quanto aos parâmetros físico-químicos, todos em conformidade com a legislação vigente. O teor de minerais e os níveis de prolina também foram determinados, apresentando valores consistentes com a literatura. A composição bioativa foi avaliada por meio de análises de compostos fenólicos totais (50,5 a 168.08 mg EAG/ g), flavonoides (8,08 A 38,01 mg EQ/100 g), antocianinas (0,26 a 2,07 mg/ g), capacidade antioxidante ABTS (1,1 a 3,1 µM ET/g), FRAP (2,38 a 5,72 µM ESF/ g) e DPPH (0,26 a 0,55 µM ET/ g). Dentre as amostras, o mel de *Euterpe oleracea* apresentou os maiores valores bioativos e antioxidantes, superando os demais méis sendo descrito através da análise de dados, o que destaca o notável potencial apícola da região amazônica.

Palavras-chave: açaí; Amazônia; apicultura; compostos bioativos.

Abstract: Beekeeping plays a significant role in the economy of northern Brazil, with honey being the primary product. Due to its biodiversity, the Amazon region offers a variety of floral sources for honey production. Monofloral honey is predominantly obtained from the nectar of a single floral species, imparting distinct characteristics, such as color, aroma, and flavor. Therefore, this study aimed to analyze and compare three *Apis mellifera* honey samples collected in the state of Pará: monofloral honey from açaí (*Euterpe oleracea*), orange (*Citrus* × *sinensis*), and mangrove (*Rhizophora mangle* L.). Pollen analysis identified the botanical origin and confirmed the monofloral classification. The samples were evaluated for their physicochemical parameters, which complied with current regulations. The mineral and proline contents were determined, yielding values consistent with the

Copyright ©. Este é um artigo em acesso aberto distribuído nos termos da Creative Commons Attribution License que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado.

literature. The bioactive composition was assessed by analyzing the total phenolic compound (50.5–168.08 mg GAE/g), flavonoid (8.08–38.01 mg QE/100 g), and anthocyanin contents (0.26–2.07 mg/g) and antioxidant capacity via ABTS (1.1–3.1 µM TE/g), FRAP (2.38–5.72 µM Fe(II)/g), and DPPH (0.26–0.55 µM TE/g) assays. Among the samples, *Euterpe oleracea* honey presented the highest bioactive and antioxidant values, surpassing the other honey samples, as described through data analysis. These results highlight the apicultural potential of the Amazon region.

Keywords: açai; Amazon; beekeeping; bioactive compounds.

1. Introdução

A apicultura é uma atividade ancestral de grande importância, uma vez que as abelhas desempenham um papel fundamental na polinização e produzem importantes produtos, como mel, geleia real, própolis, cera de abelha e pólen. O Brasil apresenta uma diversidade de climas e formações vegetais, o que possibilita a produção de méis com características distintas, que variam de uma região para outra, apresentando propriedades únicas, como cor, aroma e sabor [1, 2].

O mel é um produto orgânico natural produzido pelas abelhas por meio da coleta de néctar das plantas, e suas características variam de acordo com a floração, o clima, o solo, o armazenamento e as espécies de abelhas produtoras de mel. Isso resulta em méis com diferentes características, que podem ser classificados como monoflorais e multiflorais. O mel monofloral é aquele em que o conteúdo polínico é proveniente de flores da mesma família, gênero ou espécie, com uma incidência de pelo menos 45 % de uma única fonte polínica; sua classificação deve atender a critérios específicos para cada fonte floral [3]. O mel é composto principalmente por glicose e frutose, com menores quantidades de minerais, vitaminas, enzimas, ácidos orgânicos, flavonoides, ácidos fenólicos e outros fitoquímicos [4, 5]. Os flavonoides e os ácidos fenólicos, em particular, são responsáveis pela capacidade antioxidante do mel [6].

A diversidade botânica e produtiva da Amazônia, especialmente no estado do Pará, constitui uma base significativa para o aproveitamento de recursos. Nesse contexto, destacam-se as paisagens associadas ao cultivo do açaí (*Euterpe oleracea*), que impulsionam significativamente a cadeia produtiva e apresentam grande importância econômica e social no Pará [7]. O cultivo de citros na região Norte, especificamente da laranja (*Citrus* × *sinensis*), também apresenta importância socioeconômica para o nordeste do Pará; o município de Capitão Poço é um dos principais produtores da região [8]. Os manguezais amazônicos formam extensas áreas de vegetação costeira e constituem ambientes importantes para a manutenção da biodiversidade e dos recursos florais disponíveis aos polinizadores [9].

O clima equatorial da região Norte é caracterizado por altas temperaturas, elevada umidade e sazonalidade das chuvas, fatores que influenciam diretamente a floração e a disponibilidade de néctar e pólen, afetando, consequentemente, o comportamento de forrageamento e a produção de mel. Pesquisas realizadas no oeste do Pará demonstraram que uma maior produção de mel está associada ao clima equatorial durante a estação seca, quando o aumento da floração eleva a disponibilidade de recursos alimentares para as abelhas [10]. Assim, as interações entre a diversidade vegetal, a sazonalidade climática e a atividade das abelhas favorecem a produção de méis monoflorais provenientes de fontes de açaí, laranja e manguezal, conferindo características distintas relacionadas às suas origens botânica e ambiental.

O mel da região Amazônica apresenta propriedades químicas específicas devido ao clima equatorial e à diversidade botânica. Pesquisas demonstraram que o clima úmido e as altas temperaturas influenciam os parâmetros físico-químicos, levando a alterações nos teores de

umidade, acidez e hidroximetilfurfural (HMF). Portanto, os padrões de controle de qualidade para o mel são aplicados de forma mais rigorosa para retardar essas reações [11,12]. A vegetação é um dos principais fatores que influenciam a composição de compostos bioativos do mel, e a presença desses compostos é proveniente do pólen e do néctar coletados pelas abelhas [6].

Este estudo é significativo diante da notável diversidade vegetal e produtiva do estado do Pará, que oferece importantes fontes florais para a produção de méis com uma identidade regional distinta. A relevância do estado na produção de açaí, o extenso cultivo de citros no Nordeste do Pará e as vastas áreas de manguezais amazônicos criam ambientes com alto potencial para a produção de méis monoflorais. Além de contribuir para a valorização dos recursos naturais e da biodiversidade amazônica, esses produtos agregam valor à apicultura regional ao apresentarem características químicas e funcionais relacionadas à sua origem botânica. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência das fontes florais de açaí, laranja e manguezal sobre a composição química de méis monoflorais produzidos por *Apis mellifera* na Amazônia, contribuindo para sua caracterização e reconhecimento como produtos com uma identidade amazônica distinta.

2. Material e métodos

2.1 Amostras de mel

Esta pesquisa foi conduzida utilizando três amostras de mel produzidas pela espécie de abelha *A. mellifera*. O mel monofloral de laranjeira (*Citrus* × *sinensis*) foi obtido no município de Capitão Poço, PA (01°45’54.1”S 47°13’29.4”W) (Figura 1 - B). O mel monofloral de açaí (*E. oleracea*) foi obtido no município de Santa Maria, PA (1°20’06.6”S 47°30’01.6”W) (Figura 1 - A), e o mel monofloral de manguezal (*Rhizophora mangle* L.) foi obtido no município de Santa Maria, PA (01°20’13.9”S 47°30’20.1”W) (Figura 1 - C).

A produção de mel nas comunidades estudadas baseia-se em um sistema tradicional de manejo de *A. mellifera*, no qual a apicultura atua como uma atividade complementar associada à polinização. A colheita ocorreu uma vez por ano, geralmente entre junho e agosto, período mais favorável à produção de mel. A coleta foi realizada preferencialmente pela manhã, sob temperaturas ambiente em torno de 29 °C, visando apenas colônias fortes e populosas que apresentavam quantidade suficiente de mel armazenado para a colheita.

As abelhas eram mantidas em colmeias padronizadas, constituídas por uma câmara de cria e melgueiras acopladas, onde armazenam o excedente de mel. Durante a colheita, as melgueiras e outros compartimentos de armazenamento eram coletados utilizando métodos tradicionais, que envolviam a reunião do conteúdo de diferentes colmeias para formar um único lote de mel. Após a coleta, o produto era acondicionado em recipientes de tereftalato de polietileno (PET), sem passar por processamento industrial, e comercializado por meio de canais tradicionais nas próprias comunidades e em mercados locais. Esse método de colheita é tradicional na região, e os pesquisadores não exerceram influência sobre o processo de coleta. As amostras de mel foram transportadas em recipientes isotérmicos para análise no Laboratório de Química da Universidade do Estado do Pará (campus CCNT, em Belém, Pará).

As áreas de estudo são de propriedade privada e apresentam uma paisagem típica dos ambientes amazônicos, com recursos hídricos disponíveis e vegetação no entorno, proporcionando condições favoráveis à manutenção das colônias e à atividade de forrageamento.

O mel associado ao período de floração do açaizeiro foi coletado em uma área de cultivo de *E. oleracea* de aproximadamente 18 ha, onde estavam distribuídas 16 colônias, correspondendo a uma densidade de aproximadamente 0,89 colônias/ha. Das colônias presentes na área, 15 foram selecionadas para a coleta de mel por apresentarem desenvolvimento adequado, serem

consideradas saudáveis e fortes e possuírem quantidade suficiente de mel armazenado. A coleta do mel foi realizada durante o período de floração do açaizeiro. O mel obtido das colônias de cada grupo foi reunido e homogeneizado, resultando em uma amostra composta. Foram obtidos aproximadamente 18 kg de mel, correspondendo a um rendimento médio de 1,20 kg de mel por colônia.

A produção de mel de laranjeira foi realizada em uma área de aproximadamente 13 ha cultivada com laranjeiras (*C.* × *sinensis*), onde estavam distribuídas 17 colmeias, correspondendo a uma densidade média de 1,31 colmeias/ha. Entre as colônias, 14 (82,35 %) apresentaram desenvolvimento adequado e foram consideradas saudáveis. As colmeias estavam distribuídas em uma área predominantemente composta por laranjeiras, garantindo elevada disponibilidade de recursos florais durante o período de floração e favorecendo o forrageamento das abelhas.

A produção de mel de manguezal foi realizada em uma área de aproximadamente 8 ha de vegetação de manguezal um ecossistema sujeito a inundações periódicas pelas marés onde estavam distribuídas 10 colmeias, correspondendo a uma densidade de 1,25 colmeias/ ha. Entre as colônias estabelecidas, nove colmeias apresentaram desenvolvimento adequado e foram consideradas saudáveis; portanto, foram selecionadas para a coleta de mel. A localização das colmeias no ambiente de manguezal proporcionou às abelhas acesso aos recursos florais característicos desse ecossistema incluindo fontes de néctar e pólen, que influenciam a origem botânica e a composição química do mel.

As amostras de mel foram identificadas pelas seguintes siglas: *C.* × *sinensis* (CS); *E. oleracea* (EO); e *R. mangle* L. (RM).

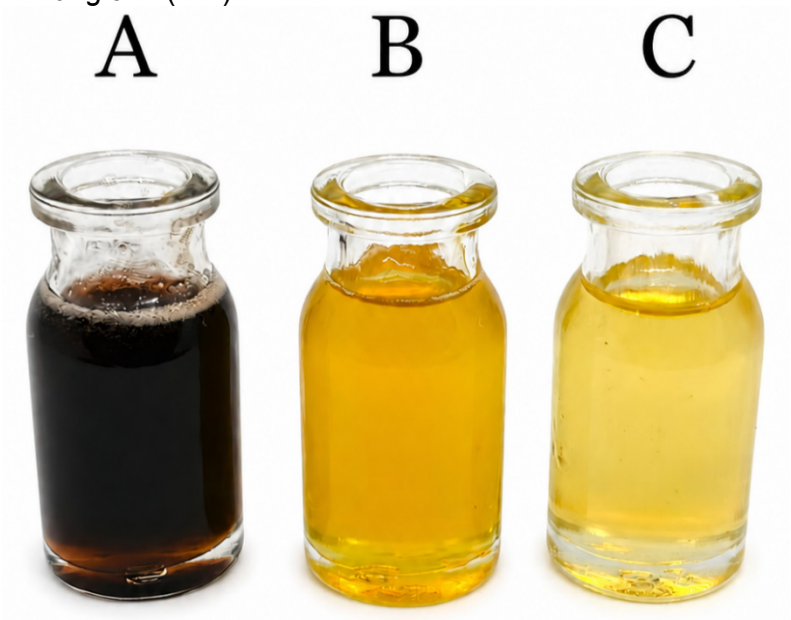


Figura 1. A – Mel de açaí com pólen predominantemente de *Euterpe oleracea*; B – Mel de laranjeira com pólen predominantemente de *Citrus* × *sinensis*; C – Mel de manguezal com pólen predominantemente de *Rhizophora mangle* L.

2.2 Métodos

2.2.1 Análise melissopalinológica do mel

A identificação polínica foi adaptada de Louveaux et al. [3]. Resumidamente, a amostra foi diluída a 50 % em água e centrifugada por 20 min a 3400 rpm. Três lâminas foram preparadas para cada amostra com uma ou duas gotas do sedimento centrifugado, e uma gota de glicerina iodada foi adicionada entre a lâmina e a lamínula, sendo as amostras visualizadas em microscópio óptico com aumento de 1000×. Foram contados e classificados: pólen dominante (PD > 45 %), pólen

acessório (PA 16–45 %) e pólen isolado (PI 3–15 %). O pólen de EO foi identificado seguindo Muto et al. [13], que avaliaram os impactos da introdução de abelhas sem ferrão na produção de açaí. O pólen de CS foi identificado com base no catálogo polínico "Pollen in Brazilian Honey" [14], e o pólen de RM foi identificado utilizando um catálogo polínico que descreve esporos e grãos de pólen de plantas aquáticas da planície costeira do sudeste do Brasil [15].

2.2.2 Análises físico–químicas

A acidez livre, lactônica e total, bem como o pH, foram determinados de acordo com o método AOAC 962.19 [16]. O teor de umidade foi determinado utilizando o método descrito na AOAC 969.38 [16]. O teor de hidroximetilfurfural (HMF) foi determinado conforme o método descrito por White [17]. A atividade diastásica foi determinada conforme descrito por Bogdanov, Martin e Lüllmann [18]. A cor do mel foi avaliada conforme descrito por Bianchi [19]. Os açúcares redutores e não redutores foram quantificados pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico, de acordo com Miller [20]. O teor de cinzas foi determinado seguindo o método AOAC 923.03 [16]. A condutividade elétrica foi medida utilizando um condutivímetro em solução de mel a 50 % [21]. O teor de minerais foi determinado por meio da digestão da amostra em HNO_3 e quantificado por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas, utilizando o equipamento modelo G8003A. Os resultados foram expressos em mg/kg [22].

O teor de prolina foi determinado seguindo a metodologia descrita por Ough [23] e adaptada por Bogdanov et al. [24]. O método baseia-se na reação de uma solução de mel com ácido fórmico e uma solução de ninidrina em isopropanol. Para a análise, 0,5 mL de uma solução de mel (0,05 g/mL) foi reagido com 1 mL de ácido fórmico a 80 % e 1 mL de solução de ninidrina a 3 % em etilenoglicol, sob agitação. Em seguida, a mistura foi colocada em banho-maria fervente por 10 min e, após resfriamento, foram adicionados 5 mL de isopropanol a 50 %. A solução foi analisada em espectrofotômetro a 510 nm. Uma solução de prolina foi preparada e utilizada como padrão.

2.2.3 Compostos bioativos e capacidade antioxidante

A extração dos compostos bioativos das amostras de mel foi realizada por meio de um procedimento de extração hidro-orgânica, utilizando acetona e metanol como solventes. Resumidamente, 2,0 g de mel foram pesados e transferidos para um recipiente apropriado, ao qual foram adicionados 5 mL de acetona a 70 % (v/v). A mistura foi submetida à agitação orbital a 180 rpm por 1 h, à temperatura ambiente. Em seguida, foram adicionados 5 mL de metanol, e a mistura foi agitada a 180 rpm por mais 1 h. Após a extração, a suspensão resultante foi filtrada em papel-filtro, e o filtrado foi transferido para frascos de vidro âmbar e armazenado sob refrigeração a aproximadamente 4°C até a análise dos compostos bioativos. O teor de compostos fenólicos totais foi determinado conforme descrito por Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós [25]. O teor de flavonoides totais foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Chang et al. [26]. O teor de antocianinas totais foi determinado seguindo o método descrito por Francis [27].

A atividade antioxidante foi determinada por meio dos ensaios com o radical ABTS, conforme descrito por Re et al. [28], FRAP, conforme descrito por Benzie et al. [29], e do ensaio de sequestro do radical DPPH, conforme descrito por Mensor et al. [30], com modificações. A principal modificação consistiu na utilização do Trolox como padrão antioxidante para a construção da curva de calibração. A atividade antioxidante dos extratos de mel foi calculada a partir da curva de calibração do Trolox e expressa em micromoles de equivalentes de Trolox (ET) por grama de mel (µmol ET/g).

2.3. Processamento dos dados

Todas as análises foram realizadas em triplicata, e os resultados foram expressos como média ± desvio padrão (DP). O coeficiente de variação (CV%) foi calculado para determinar a variabilidade analítica entre as réplicas. Como as amostras de mel provenientes de múltiplas colmeias de cada origem botânica foram homogeneizadas para obtenção de uma amostra composta única por tipo de mel, as réplicas analíticas foram consideradas réplicas técnicas, e não tratadas como réplicas biológicas independentes. Dessa forma, os dados foram avaliados de forma descritiva, considerando-se a média, o desvio padrão, os coeficientes de variação e as diferenças relativas entre os tipos de mel.

3. Resultados e discussão

3.1 Análise melissopalinológica do mel

Na Figura 2, as imagens A e B representam o pólen de *E. oleracea* encontrado no mel de açaí, as imagens C e D mostram o pólen de *C.* × *sinensis* observado no mel de flor de laranjeira, e as imagens E e F mostram o pólen de *R. mangle* encontrado no mel de mangue.

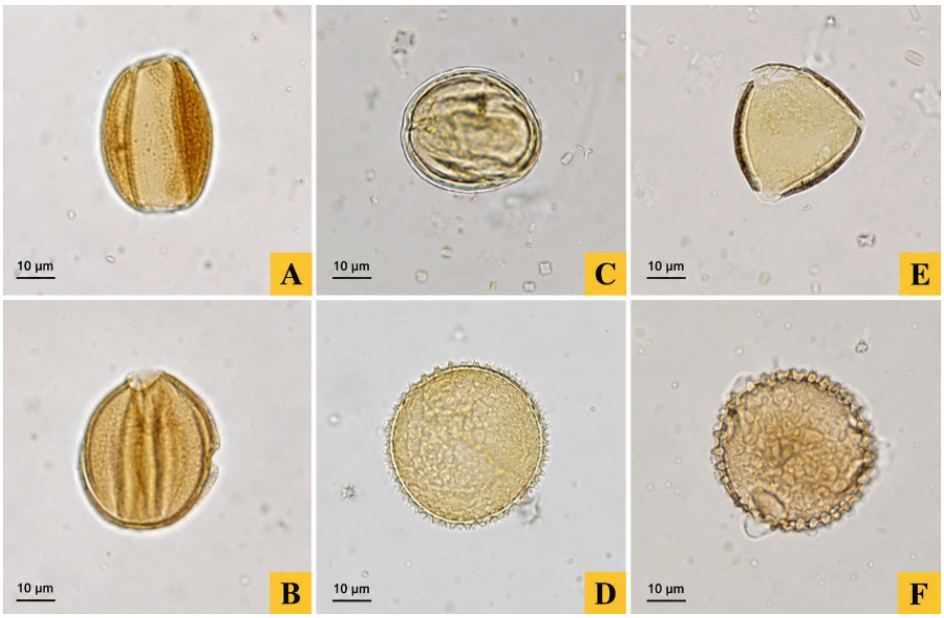


Figura 2. Vistas equatorial e polar dos grãos de pólen de *Euterpe oleracea* (A e B), *Citrus* × *sinensis* (C e D) e *Rhizophora mangle* L. (E e F).

Vistas equatoriais dos grãos de pólen: Figura A, o grão apresenta contorno elíptico regular e formato alongado, com abertura do tipo colpo orientada longitudinalmente ao longo do eixo polar. A exina exibe ornamentação estriada, com estrias paralelas percorrendo todo o corpo do grão, conferindo-lhe um aspecto característico estriado. Figura B, observou-se um padrão semelhante ao anterior, com contorno subelíptico e leve constrição próxima à região apertural. A ornamentação também é estriada, porém com estrias mais espessas e discretamente onduladas; a região do colpo é mais evidente, sugerindo margens espessadas (margo). Figura C, o grão apresenta contorno elíptico com superfície irregularmente dobrada, indicando possível colapso parcial da exina decorrente da desidratação durante o preparo. A ornamentação aparenta ser rugulada a foveolada, com sulcos irregulares que dificultam a distinção do padrão primário devido à sobreposição das dobras.

Grãos de pólen em vista polar: Figura D, observa-se contorno circular com margem discretamente serrilhada, decorrente de pequenas projeções regulares da exina. A ornamentação é micro – equinada (espinhos curtos, numerosos e uniformemente distribuídos), sobreposta a

uma superfície de fundo finamente granulosa (escabrada). Figura E, o grão apresenta âmbito subtriangular, com três ângulos convexos correspondentes à provável posição das aberturas (configuração compatível com grão tricolporado). A exina exibe ornamentação variando de psilada a microrreticulada, com espessamento evidente nos ângulos. Figura F, o grão apresenta contorno circular, com coloração mais escura em relação aos demais grãos, sugerindo maior espessura da exina (sexina proeminente). A ornamentação é equinada, apresentando espinhos mais longos, rígidos e regularmente espaçados ao longo de toda a margem, associados a uma superfície de fundo verrucosa a rugulada, visível na região central do grão.

A Tabela 1 apresenta a contagem polínica realizada nas amostras de mel monofloral. Na identificação do pólen da amostra de mel de açaí, 88,02 % correspondeu ao pólen de *E. oleracea*. No mel de flor de laranjeira, 84,4 % correspondeu ao pólen de *C. × sinensis*. No mel de mangue, 68,42 % do pólen foi proveniente das flores de *R. mangle*.

Tabela 1. Quantificação de pólen em amostras de mel de *Euterpe oleracea*, *Citrus × sinensis* e *Rhizophora mangle* L.

Espécies	Total de Pólen	Pólen Dominante	Classificação
Euterpe oleracea	192	168 (88.02 %)	PD
Citrus × sinensis	188	158 (84.40 %)	PD
***Rhizophora mangle* L.**	228	156 (68.42 %)	PD

Pólen Dominante (PD > 45 %), Pólen Acessório (PA 16–45 %), e Pólen Isolado (PI 3–15 %).

As três amostras de mel foram classificadas como monoflorais (ou uniflorais) de acordo com os critérios estabelecidos por Louveaux et al. [3], apresentando predominância de um único tipo polínico, correspondente a mais de 45 % do total de grãos de pólen identificados. Isso indica que as amostras foram derivadas predominantemente do néctar de uma espécie vegetal ou grupo botânico específico, caracterizando uma origem floral predominante.

Além do tipo polínico predominante, foram detectados grãos de pólen de outras espécies botânicas em frequências mais baixas. Entretanto, esses tipos polínicos ocorreram abaixo do limite estabelecido para o pólen predominante e, portanto, não foram considerados na caracterização da origem floral das amostras.

3.2 Análises físico–químicas

A Tabela 2 apresenta a média, o desvio padrão e os respectivos coeficientes de variação das análises físico-químicas, minerais e de teor de prolina do mel monofloral.

A acidez livre resulta dos ácidos orgânicos presentes no néctar floral utilizado pelas abelhas na produção do mel [31]. Os resultados obtidos neste estudo são condizentes com os relatados por Feás et al. [32], que observaram valores variando de 17,2 a 45,2 meq/kg em 45 amostras de mel do noroeste de Portugal. Nascimento et al. [33] também obtiveram médias dentro das mesmas faixas para méis monoflorais produzidos no Rio Grande do Sul. Todas as amostras atenderam ao limite regulamentar de 50 meq/kg estabelecido pelo Codex Alimentarius [34].

Os resultados de acidez lactônica obtidos neste estudo foram superiores aos relatados por Brunelli, Imaizumi e Venturini Filho [35], que encontraram uma média de 1,32 meq/kg. A acidez lactônica origina-se das lactonas, compostos voláteis responsáveis pelos aromas característicos dos néctares florais [36].

Tabela 2. Determinação dos parâmetros físico-químicos, minerais e do teor de prolina no mel.

Parâmetros	EO	CV%	CS	CV%	RM	CV%
Acidez Livre (meQ/kg)	41.38 ± 1.61	3.89	32.62 ± 1.32	4.04	17.61 ± 0.77	4.37
Acidez Lactônica (meQ/kg)	6.41 ± 0.49	7.64	6.07 ± 0.74	12.9	4.43 ± 0.5	11.2
Acidez Total (meQ/kg)	47.71 ± 1.18	2.47	38.8 ± 0.86	2.21	22.5 ± 0.49	2.17
Umidade (%)	20 ± 0.01	0.05	19.8 ± 0.01	0.05	18.8 ± 0.01	0.05
pH	3.61 ± 0.01	0.27	3.87 ± 0.01	0.25	4.28 ± 0.01	0.23
HMF (mg/kg)	36.45 ± 0.96	2.63	5.91 ± 0.23	3.89	58.59 ± 1.14	1.94
AD (GOTHE g-1)	8.57 ± 0.02	0.23	60.0 ± 0.02	0.03	12.0 ± 0.02	0.16
Cor	Âmbar	-	Âmbar Claro	-	Âmbar Extra Claro	-
Açúcares Redutores (%)	71.73 ± 0.05	0.06	76.50 ± 0.7	0.91	72.07 ± 0.49	0.67
Sacarose (%)	4.60 ± 0.6	13.0	1.70 ± 0.12	7.05	4.96 ± 0.15	3.02
Teor de Cinzas (%)	0.12 ± 0.02	16.6	0.52 ± 0.08	15.3	0.17 ± 0.01	5.88
CE (mS/cm)	0.35 ± 0.01	2.85	0.87 ± 0.01	1.14	0.46 ± 0.01	2.17
Fe (mg/Kg)	7.63 ± 0.95	12.4	3.71 ± 0.11	2.96	3.23 ± 0.32	9.90
Zn (mg/Kg)	5.43 ± 0.54	9.94	5.01 ± 0.45	8.98	4.43 ± 0.58	13.0
Cu (mg/Kg)	1.01 ± 0.08	7.92	0.83 ± 0.02	2.40	0.85 ± 0.03	3.52
Mn (mg/Kg)	3.03 ± 0.16	5.28	3.40 ± 0.09	2.82	1.12 ± 0.06	5.35
P (mg/Kg)	105.89 ± 2.14	2.02	133.19 ± 1.6	0.87	196.35 ± 2.3	1.17
Ca (mg/Kg)	80.24 ± 1.11	1.38	180.94 ± 2.01	1.11	77.44 ± 0.99	1.27
Mg (mg/Kg)	19.17 ± 0.87	4.53	51.17 ± 0.98	1.91	25.07 ± 0.91	3.62
Prolina (mg/ Kg)	294.4 ± 7.13	2.42	321.4 ± 4.99	1.55	204.1 ± 3.10	1.51

HMF – Hidroximetilfurfural; AD – Atividade diastásica; CE – Condutividade elétrica; CV – Coeficiente de variação. Os resultados são expressos como média ± desvio-padrão.

Os teores de umidade obtidos neste estudo sã o semelhantes aos registrados por Lira et al. [37], que relataram uma faixa de 15,2–20 % em méis de *A. mellifera*. Essa convergência de dados reforça a relação entre umidade, acidez e maturação do mel. A umidade constitui um parâmetro crítico na avaliação da qualidade do mel, uma vez que afeta diretamente a maturação, a viscosidade, o comportamento de cristalização e o perfil sensorial. Alterações no teor de umidade após a colheita podem ocorrer em condições inadequadas de armazenamento. Um teor de umidade elevado (>20 %) cria um ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos osmofílicos, desencadeando processos fermentativos e comprometendo a estabilidade do produto [38]. Todas as amostras atenderam ao limite máximo de 20 % estabelecido pelo Codex Alimentarius [34], confirmando a conformidade com os padrões internacionais de qualidade.

Esses valores de pH situam-se dentro da faixa relatada por Rodríguez-Flores [39] (4.0–4.1) e por Ghorab et al. [22] (3,5–4,4 em 30 amostras de mel). O mel apresenta tipicamente pH baixo (3,5–5,5), influenciado pela espécie de abelha, pela composição do néctar, pelas secreções mandibulares adicionadas durante o transporte até a colmeia e pelas concentrações de ácidos e minerais [40]. Embora o pH não seja um parâmetro regulamentado legalmente, valores fora dessa faixa podem indicar fermentação ou adulteração.

O mel amazônico apresentou resultados superiores aos relatados por Da Silva et al. [4] (2,8–30,43 mg/kg em méis de *A. mellifera* provenientes de diversos continentes), porém semelhantes aos de Lira et al. [37] (7.49–56.80 mg/kg).

Normalmente, o 5-HMF é considerado um importante indicador da qualidade, frescor e exposição excessiva ao calor do mel, estando geralmente presente em baixas concentrações no mel fresco. Teores elevados de HMF podem resultar da degradação de hexoses, particularmente frutose e glicose, por meio de reações de desidratação catalisadas por ácidos e reações

relacionadas à reação de Maillard. Embora o processamento térmico contribua para a formação de HMF, sua concentração também é influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos, incluindo o pH e a acidez do mel, a composição de açúcares, a atividade de água, o teor de minerais, a origem botânica, o tempo e a temperatura de armazenamento [41,42]. Dessa forma, os teores de HMF devem ser interpretados como resultado da interação entre as características químicas do mel e seu histórico de processamento e armazenamento, e não apenas como consequência da temperatura.

No presente estudo, os méis de EO e RM apresentaram teores de HMF superiores aos do mel de CS. Embora as condições climáticas tropicais da região amazônica, particularmente as temperaturas ambientes relativamente elevadas, favoreçam a formação de HMF durante o armazenamento, esse fator isoladamente não explica as diferenças observadas entre as amostras, uma vez que todos os méis foram produzidos na mesma região geográfica. Diferenças na origem botânica e na composição química intrínseca do mel, incluindo pH, acidez, perfil de açúcares, atividade de água e composição mineral, também podem contribuir para a variação observada no teor de HMF. Além disso, diferenças nas condições de manejo pós-colheita, processamento, tempo e temperatura de armazenamento podem influenciar o teor final de HMF. Estudos recentes têm enfatizado que a formação de HMF no mel é um processo multifatorial, no qual a temperatura e o tempo de armazenamento interagem com as características físico-químicas da matriz do mel [11, 43]. Assim, o maior teor de HMF observado nos méis de EO e RM deve ser interpretado como resultante dos efeitos combinados da composição do mel, da origem botânica e das condições pós-colheita, e não atribuído exclusivamente ao clima tropical.

O teor de HMF obtido neste estudo foi determinado de acordo com os limites estabelecidos pelas normas de qualidade do mel aplicáveis. O Codex Alimentarius estabelece um teor máximo de HMF de 40 mg/kg para o mel, com disposições e exceções específicas conforme o tipo e a origem do mel [34]. Dessa forma, o teor de HMF observado fornece informações úteis quanto à qualidade e ao frescor das amostras avaliadas, embora devam ser interpretadas em conjunto com os demais parâmetros de qualidade.

O mel de CS apresentou a maior atividade, associada ao seu baixo teor de HMF. Esses resultados são condizentes com os relatados por Da Silva et al. [4] para méis espanhóis (11,50–45,80) e marroquinos (7,40–29,29) [44]. A atividade diastásica reflete a presença de α-amilase e é sensível ao tratamento térmico; valores baixos podem indicar superaquecimento, armazenamento inadequado ou adulteração [44, 45]. Essa atividade também apresenta relação inversa com o teor de HMF [41]. Todas as amostras atenderam ao limite mínimo de 8 (escala de Gothe) estabelecido pelo Codex Alimentarius [34].

A coloração do mel amazônico avaliado neste estudo variou de âmbar claro a âmbar escuro, em concordância com as faixas de coloração previamente relatadas para méis do Pará e de outras regiões geográficas [11, 45]. A cor do mel constitui uma característica complexa, influenciada pela origem botânica, pela composição fenólica, pelo teor de minerais, por reações enzimáticas e não enzimáticas, e pelas condições de processamento e armazenamento. Méis mais escuros frequentemente apresentam maiores concentrações de compostos fenólicos e maior potencial antioxidante, embora a relação entre a cor e os constituintes químicos individuais não seja necessariamente linear. O aquecimento e o armazenamento prolongados podem favorecer reações do tipo Maillard e a formação de melanoidinas, que contribuem para o escurecimento do mel e podem ocorrer concomitantemente ao aumento da formação de HMF [43]. Portanto, as diferenças de coloração observadas entre os méis de EO, CS e RM devem ser interpretadas como resultado de múltiplos fatores interagentes, e não atribuídas exclusivamente ao clima.

Os dados obtidos neste estudo situam-se dentro da faixa relatada por Adalina e Heryati [46] para mel de mangue indonésio (55,84–77,94 %). Valores baixos indicam colheita prematura [47]. Todas as amostras superaram o requisito mínimo de 60 % [34]. Os teores de sacarose no mel amazônico foram condizentes com os relatados por Da Costa e Toro [48] para méis do Pará (0.16–8.26 %). Teores elevados podem indicar adulteração ou colheita precoce [42]. Todos os valores permaneceram abaixo do limite máximo de 5 % [34].

A amostra de CS apresentou teor de cinzas significativamente superior às demais. Esses resultados estão de acordo com os relatados por Grosso, Tangarife e Méndez [49] para méis colombianos (0.19–0.20 %) e peruanos (0.14–0.53 %) [50]. O teor de cinzas reflete a composição mineral e a qualidade do processamento [21]. Todas as amostras permaneceram abaixo do limite máximo de 0,6 % [24].

A condutividade da amostra de CS foi condizente com seu elevado teor de cinzas [4]. Esses valores superaram os relatados por Gürbüz [45] para méis turcos (0.15–0.31 mS/cm), porém foram compatíveis com os resultados obtidos para méis ibéricos (0.5-0.8 mS/cm) [39]. Apenas a amostra de CS ultrapassou discretamente o limite de 0,8 mS/cm [34].

O perfil mineral revelou cálcio e fósforo como os elementos mais abundantes, os quais estão associados ao transporte de carboidratos e ao armazenamento de energia nas plantas [51]. Os minerais têm origem no solo e são transferidos por meio do néctar. Metais tóxicos indicam poluição ambiental ou manejo inadequado [51]. Todos os valores situaram-se dentro das faixas relatadas na literatura [52].

Os teores de prolina nos méis estudados foram superiores aos relatados por Da Costa e Toro [48] para méis do Pará (6.0–130.0 mg/kg), porém inferiores aos encontrados em méis paquistaneses (287.6–511.1 mg/kg) [53]. Esse aminoácido serve como indicador de maturação e adulteração do mel [54]. Todas as amostras superaram o limite mínimo de qualidade de 180 [24].

3.3 Compostos bioativos e capacidade antioxidante

Os resultados dos compostos bioativos nas amostras de mel de *E. oleracea*, *C.* × *sinensis* e *R. mangle* L. são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante no mel

Mel bioativo	*EO*	CV%	*CS*	CV%	*RM*	CV%
CFT (mg EAG/100 g)	168.08 ± 3.83	2.27	74.9 ± 1.06	1.41	50.5 ± 0.95	1.88
FT (mg EQ/100 g)	38.01 ± 0.68	1.78	9.35 ± 0.34	3.63	8.08 ± 0.32	3,96
Antocianinas (mg/100 g)	2.07 ± 0.22	10,9	0.48 ± 0.28	58.3	0.26 ± 0.12	46,1
ABTS (µM ET/g)	3.10 ± 0.01	0.32	1.70 ± 0.01	0,58	1.10 ± 0.01	0.90
FRAP (µM ESF/g)	5.72 ± 0.08	1.39	3.12 ± 0.01	0.32	2.38 ± 0.04	1.68
DPPH (µM ET/g)	0.55 ± 0.01	1.81	0.35 ± 0.01	2.85	0.26 ± 0.01	3.84

CFT – Compostos Fenólicos Totais; EAG – Equivalente de Ácido Gálico; FT – Flavonoides Totais; EQ – Equivalente de Quercetina; ET – Equivalente de Trolox; ESF – Equivalente de Sulfato Ferroso.

A análise dos compostos bioativos revelou um padrão consistente entre os méis monoflorais amazônicos avaliados neste estudo. Os compostos fenólicos totais variaram de 50,5 mg EAG/100 g em RM a 168,08 mg EAG/100 g em EO, enquanto os teores de flavonoides totais variaram de 8,08 mg EQ/100 g em RM a 38,01 mg EQ/100 g em EO.

Um padrão semelhante foi observado para as antocianinas totais, com concentrações de 0,26, 0,48 e 2,07 mg/100 g nos méis de RM, CS e EO, respectivamente. Dessa forma, o mel de EO apresentou consistentemente as maiores concentrações dos três grupos de compostos bioativos avaliados, enquanto o mel de RM apresentou os menores valores. Esse padrão

químico consistente sugere que a origem botânica do mel pode ter exercido papel importante na determinação de sua composição bioativa. Estudos prévios com méis brasileiros demonstraram que méis monoflorais apresentam perfis fenólicos e capacidades antioxidantes distintos conforme a origem botânica, mesmo quando produzidos no mesmo país [33].

A predominância de compostos bioativos no mel de EO é relevante considerando a origem botânica desse mel — *E. oleracea*. A composição química do mel é influenciada pelas substâncias de origem vegetal transferidas a partir do néctar e, em menor extensão, do pólen, durante o processo de forrageamento e processamento do mel pelas abelhas. Consequentemente, diferenças nos recursos florais disponíveis às colônias contribuem para diferenças nas concentrações e nos perfis de metabólitos secundários no mel resultante. Nesse contexto, os maiores teores fenólicos e de flavonoides observados no mel de EO refletem a contribuição de metabólitos associados ao recurso floral de *E. oleracea*, embora o presente estudo não tenha determinado os compostos fenólicos individuais nem estabelecido marcadores químicos específicos dessa origem botânica. A composição do mel também é influenciada pela origem geográfica e pelas condições ambientais, que podem atuar em conjunto com a origem botânica na determinação do perfil químico final [33,55].

A amostra de EO apresentou teor de compostos fenólicos totais de 168,08 mg EAG/100 g, valor consideravelmente superior à faixa relatada por Galhardo et al. [56] para méis de *A. mellifera* do Paraná (11,39–61,27 mg EAG/100 g) e por Bueno-Costa et al. [57] para méis do sul do Brasil (61,16–111,37 mg EAG/100 g). Em vez de indicar que o mel de EO é inerentemente mais rico em compostos fenólicos do que a totalidade dos méis brasileiros, essas diferenças devem ser interpretadas no contexto da origem botânica e geográfica, uma vez que esses fatores afetam a composição fenólica do mel. A presença e a concentração de ácidos fenólicos e flavonoides no mel estão intimamente associadas aos recursos vegetais explorados pelas abelhas, embora as condições ambientais e pós-colheita também possam influenciar a composição final. Dessa forma, o maior teor fenólico observado no mel de EO pode estar relacionado ao recurso floral representado por *E. oleracea* e às condições ambientais do sistema produtivo amazônico.

Uma tendência semelhante foi observada para os flavonoides totais. O mel de EO apresentou concentração de 38,01 mg EQ/100 g, valor aproximadamente 4 vezes superior aos detectados nos méis de RM e CS. Esse valor foi superior ao relatado por Nayaka et al. [58] para méis indonésios (0,074–2,053 mg EQ/100 g) e para méis do Piauí (5,43–13,02 mg EQ/100 g) [6]. Os flavonoides constituem um importante grupo de metabólitos secundários fenólicos presentes no mel e podem contribuir para suas propriedades antioxidantes. Contudo, sua concentração varia em função da origem floral e geográfica. Estudos brasileiros têm demonstrado diferenças na composição de flavonoides entre méis monoflorais, reforçando o papel da origem botânica na determinação das características químicas do mel [33,55]. Assim, a maior concentração de flavonoides no mel de EO, associada ao seu maior teor de compostos fenólicos totais, confirma a existência de um perfil bioativo distinto associado a esse mel.

As diferenças entre os três tipos de mel refletiram-se em sua capacidade antioxidante. Os valores de ABTS foram de 1,1, 1,7 e 3,1 µM ET/g para os méis de RM, CS e EO, respectivamente, e os valores de FRAP foram de 2,38, 3,12 e 5,72 µM SF/g, respectivamente. Os valores de DPPH seguiram a mesma tendência, aumentando de 0,26 µM ET/g no mel de RM e 0,35 µM ET/g no mel de CS para 0,55 µM ET/g no mel de EO. Dessa forma, os três ensaios antioxidantes apresentaram o mesmo padrão geral: o mel de EO apresentou a maior capacidade antioxidante, seguido pelos méis de CS e RM. Essa concordância entre as abordagens analíticas reforça a interpretação de que a composição química distinta do mel de EO se reflete em seu potencial

antioxidante. Estudos brasileiros envolvendo méis monoflorais e poliflorais têm demonstrado, de forma semelhante, que a origem botânica e geográfica influencia a composição fenólica e a atividade antioxidante [33, 55].

Os resultados de ABTS das presentes amostras superaram os relatados por Srećković et al. [59] para méis da Sérvia Central (0,026–0,59 μM ET/g) e por Galhardo et al. [56] para 67 méis poliflorais de *A. mellifera* (0,43–1,54 μM ET/g). De forma semelhante, o valor de FRAP observado para o mel de EO foi superior à faixa relatada por Galhardo et al. [56] (1.59–3.54 μM SF/g) e situou-se dentro da faixa previamente relatada para méis do Pará (0.98–5.99 μM SF/g) [43]. Os valores de DPPH também foram superiores aos relatados por Galhardo et al. [56] para méis do Paraná (0,04–0,16 μM ET/g) e por Srećković et al. [59] para méis da Sérvia Central (0,008–0,26 μM ET/g). Embora essas comparações demonstrem a elevada capacidade antioxidante das amostras avaliadas, diferenças nos procedimentos de extração, nas condições analíticas, na origem botânica, na origem geográfica e nas unidades de expressão devem ser consideradas ao se compararem resultados de atividade antioxidante entre estudos.

A relação entre a composição de compostos bioativos e a capacidade antioxidante foi evidente no mel de EO, que apresentou as maiores concentrações de fenólicos totais, flavonoides e antocianinas, bem como os maiores valores nos ensaios de ABTS, FRAP e DPPH. Esse padrão é consistente com o observado em estudos prévios, que demonstraram associações entre a composição fenólica/flavonoídica e a atividade antioxidante em méis brasileiros [60,33]. Em particular, Sant'Ana et al. [60] relataram relações entre a cor do mel, os compostos fenólicos totais, os flavonoides e a capacidade antioxidante, sugerindo que essas características estão interconectadas. Entretanto, a atividade antioxidante do mel não deve ser atribuída exclusivamente aos compostos fenólicos, uma vez que outros constituintes, incluindo produtos da reação de Maillard, peptídeos, ácidos orgânicos, minerais, enzimas e outras substâncias redutoras, também podem contribuir para a resposta antioxidante global [60, 33].

O maior teor de antocianinas observado no mel de EO (2,07 mg/100 g), em comparação aos méis de RM (0,26 mg/100 g) e CS (0,48 mg/100 g), também contribui para o perfil bioativo distintivo dessa amostra. O valor observado para EO foi comparável à concentração relatada por Habryka, Socha e Juszczak [61] em méis poloneses (2,01 mg/100 g). As antocianinas são pigmentos flavonoídicos com propriedades antioxidantes que podem contribuir para a coloração de matrizes alimentares. A relação entre a concentração de antocianinas e a cor do mel deve ser interpretada com cautela, uma vez que a coloração do mel constitui uma característica complexa, influenciada por múltiplos compostos e processos. Os maiores teores de antocianinas e flavonoides no mel de EO podem ter contribuído para sua aparência mais escura; contudo, os presentes resultados não permitem atribuir exclusivamente às antocianinas a coloração mais escura observada [62].

A relação entre cor e composição é particularmente relevante na interpretação dos resultados obtidos para a amostra de EO. Sua pigmentação mais escura ocorreu em conjunto com maiores concentrações de compostos fenólicos e flavonoides e maior capacidade antioxidante. Esse padrão é consistente com estudos sobre méis brasileiros que relatam associações entre coloração mais escura, teor de compostos fenólicos/flavonoides e atividade antioxidante [60]. Pesquisas mais recentes envolvendo méis monoflorais e poliflorais brasileiros também têm demonstrado correlações entre o teor de flavonoides e a cor do mel, evidenciando que as origens botânica e geográfica influenciam fortemente a composição química e a atividade antioxidante [55]. Dessa forma, a coloração mais escura do mel de EO pode ser considerada uma característica externa associada à sua composição química distintiva; entretanto, a cor isoladamente não pode ser utilizada como indicador direto da concentração de um composto bioativo específico.

A semelhança visual entre o mel de EO e os produtos derivados do açaí deve ser interpretada com cautela. Embora *E. oleracea* seja amplamente reconhecida por seu fruto rico em antocianinas, a composição do fruto não reflete necessariamente a composição de seu néctar ou do mel produzido a partir dos recursos florais. Portanto, a coloração mais escura observada no mel de EO não deve ser interpretada como evidência de que esse mel apresenta composição química equivalente à do fruto do açaí. Em vez disso, essa semelhança deve ser compreendida como uma característica visual, sendo mais apropriado discutir as diferenças químicas observadas entre os méis de EO, CS e RM em relação à sua origem botânica e aos compostos transferidos ou modificados durante o processo de produção do mel.

O perfil distintivo do mel de EO também pode ser interpretado no contexto das características botânicas de *E. oleracea*. A composição química de um mel monofloral não representa uma réplica química direta da planta da qual as abelhas coletam o néctar. Em vez disso, o mel resulta de um processo complexo que envolve a composição do néctar, o metabolismo das abelhas, transformações enzimáticas, desidratação, maturação e incorporação de compostos derivados do ambiente floral. Consequentemente, as maiores concentrações de compostos bioativos observadas no mel de EO podem refletir o efeito combinado do recurso floral associado a *E. oleracea* e das transformações bioquímicas ocorridas durante a formação do mel. Estudos adicionais utilizando perfil cromatográfico de compostos fenólicos individuais são necessários para identificar marcadores químicos específicos associados ao mel de *E. oleracea* [33,63].

Em contrapartida, o mel de CS apresentou concentrações intermediárias de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, bem como capacidade antioxidante intermediária. Esse perfil é consistente com as características conhecidas dos méis cítricos, os quais geralmente apresentam uma ampla diversidade de compostos fenólicos e outros metabólitos secundários, além de propriedades antioxidantes, embora sua composição varie conforme a espécie cítrica, a origem geográfica e as condições de produção [63]. Dessa forma, a posição intermediária do mel de CS entre os méis de EO e RM sugere que sua composição bioativa reflete as características do recurso floral de *C.* × *sinensis* e de seu ambiente de produção.

O mel de RM apresentou as menores concentrações de compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas e, consequentemente, os menores valores nos três ensaios antioxidantes. Isso indica que os três grupos de compostos bioativos avaliados não variaram de forma independente, mas apresentaram um padrão coordenado, que também se refletiu na capacidade antioxidante. Não obstante, a menor atividade antioxidante do mel de RM não deve ser interpretada como evidência de qualidade inferior, uma vez que a capacidade antioxidante representa apenas um dos aspectos da composição e da funcionalidade do mel. Diferenças na origem botânica, na composição mineral, nas condições ambientais e em outros compostos não quantificados no presente estudo podem contribuir para suas características químicas e biológicas.

De modo geral, os resultados indicam uma associação coerente entre a origem botânica, a composição bioativa e a capacidade antioxidante dos méis monoflorais avaliados. O mel de EO, associado a *E. oleracea*, apresentou as maiores concentrações de compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas, além de exibir consistentemente a maior capacidade antioxidante nos ensaios de ABTS, FRAP e DPPH. O mel de CS apresentou valores intermediários, enquanto o mel de RM apresentou os menores valores. Em vez de atribuir esse padrão exclusivamente a uma única classe de compostos, os resultados sugerem que diferenças no recurso floral e na consequente composição química de cada mel podem ter contribuído para a resposta

antioxidante observada. Essa interpretação é consistente com estudos sobre méis brasileiros que demonstram que a origem botânica constitui um determinante importante da composição fenólica e das propriedades antioxidantes [33, 55].

Os presentes achados reforçam a importância de se avaliar o mel monofloral com base em sua origem botânica específica, em vez de se presumir que todos os méis produzidos dentro da mesma região geográfica compartilham perfis bioativos semelhantes. Embora as três amostras tenham se originado da região amazônica, suas distintas fontes florais estiveram associadas a diferentes concentrações de compostos bioativos e respostas antioxidantes. Assim, os resultados corroboram a hipótese de que a origem botânica, em conjunto com fatores ambientais e geográficos, contribui para a diferenciação química dos méis amazônicos.

4. Conclusão

Os méis analisados neste estudo foram classificados como mel monofloral e apresentou resultados dentro dos parâmetros físico-químicos permitidos pelas regulamentações brasileiras e internacionais. Em relação à sua composição de compostos bioativos, todos os méis apresentaram a presença de compostos associados ao potencial antioxidante, sendo o mel de açaí com pólen predominantemente de Euterpe oleracea aquele que apresentou o perfil geral mais expressivo em termos de compostos bioativos e capacidade antioxidante em comparação com as demais amostras de mel. Esses achados destacam a potencial influência da origem botânica sobre as características químicas e funcionais do mel. De modo geral, os resultados confirmam a importância de promover pesquisas e atividades de apicultura na região Amazônica, onde a rica biodiversidade vegetal fornece uma fonte valiosa de méis distintos, com propriedades bioativas promissoras e potencial para maior valorização científica e comercial.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

As contribuições originais apresentadas no estudo estão incluídas no artigo. Consultas adicionais podem ser direcionadas ao autor correspondente.

Contribuições do autor

Conceituação: Cunha J.S., Silva W.O., Toro M.J.U. Curadoria dos dados: Cunha J.S., Silva W.O., Silva M.E., Toro M.J.U. Análise formal: Cunha J.S., Silva W.O., Silva M.E. Captação de recursos: Toro M.J.U. Investigação: Cunha J.S., Silva W.O., Silva M.E. Metodologia: Cunha J.S., Silva W.O., Silva M.E., Toro M.J.U. Administração do projeto: Toro M.J.U. Recursos: Toro M.J.U. Supervisão: Toro M.J.U. Validação: Cunha J.S., Silva W.O., Silva M.E. Redação — elaboração do rascunho original: Cunha J.S, Silva W.O., Silva M.E. Redação — revisão e edição: Cunha J.S., Toro M.J.U.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores declaram que nenhuma ferramenta de inteligência artificial (IA) generativa ou tecnologias assistidas por IA foram utilizadas na redação, preparação, revisão, interpretação ou organização do conteúdo científico deste manuscrito. O manuscrito foi integralmente escrito exclusivamente pelos autores, que assumem total responsabilidade pela originalidade, precisão e integridade das informações apresentadas, em conformidade com as políticas editoriais da Ciência Animal Brasileira (CAB).

Referências

1. Gois GC, Lima CAB, Silva LT, Rodrigues AE. Composição do mel de *Apis mellifera*: requisitos de qualidade. Acta Vet Bras. 2013;7(2):137-47. Disponível em: https://doi.org/10.21708/avb.2013.7.2.3009

2. Jaffé R, Pope N, Carvalho AT, Maia UM, Blochtein B, Carvalho CAL, et al. Bees for development: Brazilian survey reveals how to optimize stingless beekeeping. PLoS One. 2015;10:e0130111. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130111

3. Louveaux J, Maurizio A, Vorwohl G. Methods of melissopalynology. Bee World. 1978;59(4):139-57. Disponível em: https://doi.org/10.1080/0005772X.1978.11097714

4. Da Silva PM, Gauche C, Gonzaga LV, Costa ACO, Fett R. Honey: chemical composition, stability and authenticity. Food Chem. 2016;196:309-23. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051

5. White JW Jr. Honey. Adv Food Res. 1978;24:287-374. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60160-3

6. Silva SMPC, Andrade WC, Santos PC, Nascimento AS, Carvalho CAL. Bioactive compounds and antioxidant potential of honey produced by Africanized bees (*Apis mellifera* L.) in Piauí. Sci Electron Arch. 2020;13(9):10-18. Disponível em: https://doi.org/10.36560/13920201061

7. Nogueira AKM, Santana ACD. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açaí no Estado do Pará. Rev Ceres. 2016;63(1):1-7. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010001

8. Do Nascimento OR, Cardoso LAS, de Oliveira Ferreira EV, da Cunha IDCM, do Nascimento Santos J, dos Santos ARN, et al. Utilization of multispectral imagery in orange trees cultivated with agricultural gypsum application in Eastern Amazon. J Indian Soc Remote Sens. 2026:1-13. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12524-026-02465-3

9. Hayashi SN, Souza-Filho PWM, Nascimento Junior WR, Fernandes ME. Status of mangroves land use on the Brazilian Amazon coast from RapidEye imagery and GEOBIA approach. An Acad Bras Cienc. 2023;95(2):e20210468. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0001-3765202320210468

10. Pires AP, Pacheco A, Martorano LG, Neto JM, de Moraes JRDSC, Aparecido LEDO. Evaluation of the honey and pollen yield of Melipona interrupta bee colonies in the Amazon region. Aust J Crop Sci. 2020;14(3):455-61. Disponível em: https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.03.p1991

11. Menezes BAD, Mattietto RA, Lourenço L de FH. Avaliação da qualidade de méis de abelhas africanizadas e sem ferrão nativas do nordeste do estado do Pará. Cienc Anim Bras. 2018;19. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1809-6891v19e-46578

12. De Freitas EPB, Craveiro RS, De Assunção JMB, Dos Santos Lopes YM, Junior ENM, De Souza RF. Caracterização físico-química em méis de abelhas produzidos no município de Cachoeira do Arari–Ilha de Marajó, Pará. Res Soc Dev. 2022;11(3). Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26532

13. Muto NA, Oliveira de Sousa Leite R, Santiago Pereira D, Ghislain Rogez HL, Cristino Venturieri G. Impact of the introduction of stingless bee colonies (*Scaptotrigona aff. postica*) on the productivity of açaí (*Euterpe oleracea*). Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustent. 2020;15(3). Disponível em: https://doi.org/10.18378/rvads.v15i3.8404

14. Barth OM. O pólen no mel brasileiro. Rio de Janeiro: Gráfica Luxor; 1989.

15. Ybert JP, Bove CP, Carvalho MA. Esporos e grãos de pólen de plantas aquáticas da zona litoral do Sudeste do Brasil. Série Livros Digital; 2017.

16. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 18th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists; 2005.

17. White JW Jr. Spectrophotometric method for hydroxymethylfurfural in honey. J Assoc Off Anal Chem. 1979;62(3):509-14. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jaoac/62.3.509

18. Bogdanov S, Martin P, Lüllmann C. Harmonised methods of the European Honey Commission. Apidologie. 1997;28:42-4.

19. Bianchi SM. La miel, características y composición: análisis y adulteraciones. Santiago del Estero: UNSE-CEDIA; 1981.

20. Miller GL. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 1959;31(3):426-8. Disponível em: https://doi.org/10.1021/ac60147a030

21. Bogdanov S, Martin P, Lullmann C. Harmonised methods of the International Honey Commission. Liebefeld: Swiss Bee Research Centre, FAM; 2002. p. 1-62.

22. Ghorab A, Rodríguez-Flores MS, Nakib R, Escuredo O, Haderbache L, Bekdouche F, et al. Sensorial, melissopalynological and physico-chemical characteristics of honey from Babors Kabylia's region (Algeria). Foods. 2021;10(2):225. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods10020225

23. Ough C. Rapid determination of proline in grapes and wines. J Food Sci. 1969;34(3):228-30. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1969.tb10327.x

24. Bogdanov S, Lüllmann C, Martin P, von der Ohe W, Russmann H, Vorwohl G, et al. Honey quality and international regulatory standards: review by the International Honey Commission. Bee World. 1999;80(2):61-9. Disponível em: https://doi.org/10.1080/0005772X.1999.11099428

25. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Methods Enzymol. 1999;299:152-78. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

26. Chang CC, Yang MH, Wen HM, Chern JC. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. J Food Drug Anal. 2002;10:178-82. Disponível em: https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748

27. Francis FJ. Analysis of anthocyanins in foods. In: Markakis P, editor. Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press; 1982. p. 181-207.

28. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic Biol Med. 1999;26:1231-7. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3

29. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Anal Biochem. 1996;239(1):70-6. Disponível em: https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

30. Mensor LL, Menezes FS, Leitão GG, Reis AS, Santos TCD, Coube CS, et al. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. Phytother Res. 2001;15(2):127-30. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ptr.687

31. Bergamo G, Seraglio SKT, Gonzaga LV, Fett R, Costa ACO. Physicochemical characteristics of bracatinga honeydew honey and blossom honey produced in the state of Santa Catarina: an approach to honey differentiation. Food Res Int. 2019;116:745-54. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.007

32. Feás X, Pires J, Iglesias A, Estevinho ML. Characterization of artisanal honey produced on the Northwest of Portugal by melissopalynological and physicochemical data. Food Chem Toxicol. 2010;48(12):3462-70. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.09.024

33. do Nascimento KS, Sattler JAG, Macedo LFL, González CVS, de Melo ILP, Araújo ES, et al. Phenolic compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys. LWT Food Sci Technol. 2018;91:85-94. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.016

34. Codex Alimentarius. Standard for honey: CXS 12-1981. Adopted in 1981. Revised in 1987, 2001. Amended in 2019, 2022. Rome: FAO/WHO; 2022.

35. Brunelli LT, Imaizumi VM, Venturini Filho WG. Caracterização físico-química, energética e sensorial de hidromel produzido a partir de cinco tipos de leveduras alcoólicas. Energ Agric. 2017;32(2):200-8. Disponível em: https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n2p200-208

36. De Maria CAB, Moreira RFA. Compostos voláteis em méis florais. Quim Nova. 2003;26:90-6. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100016

37. Lira AF, De Mello Sousa JPL, Lorenzon MCA, Vianna CAFJ, Castro RN. Estudo comparativo do mel de *Apis mellifera* com méis de meliponíneos de diferentes regiões. Acta Vet Bras. 2014;8(3):169-78. Disponível em: https://doi.org/10.21708/AVB.2014.8.3.3560

38. Munitis MT, Cabrera E, Rodriguez-Navarro A. An obligate osmophilic yeast from honey. Appl Environ Microbiol. 1976;32(3):320-3. Disponível em: https://doi.org/10.1128/aem.32.3.320-323.1976

39. Rodríguez-Flores MS, Escuredo O, Seijo-Rodríguez A, Seijo MC. Characterization of the honey produced in heather communities (NW Spain). J Apic Res. 2019;58(1):84-91. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1495417

40. Ramalhosa E, Gomes T, Pereira AP, Dias T, Estevinho LM. Mead production: tradition versus modernity. In: Advances in food and nutrition research. Academic Press; 2011. p. 101-18. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384927-4.00004-X

41. White JW. The role of HMF and diastase assays in honey quality evaluation. Bee World. 1994;75(3):104-17. Disponível em: https://doi.org/10.1080/0005772X.1994.11099213

42. Mouhoubi-Tafinine Z, Ouchemoukh S, Bachir Bey M, Louaileche H, Tamendjari A. Effect of storage on hydroxymethylfurfural (HMF) and color of some Algerian honey. Int Food Res J. 2018;25(3):1044-50.

43. Tuberoso CIG, Jerković I, Sarais G, Congiu F, Marijanović Z, Kuś PM. Color evaluation of seventeen European unifloral honey types by means of spectrophotometrically determined CIE LCabhab° chromaticity coordinates. Food Chem. 2014;145:284-91. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.032

44. Bouhlali EDT, Bammou M, Sellam K, El Midaoui A, Bourkhis B, Ennassir J, et al. Physicochemical properties of eleven monofloral honey samples produced in Morocco. Arab J Basic Appl Sci. 2019;26(1):476-87. Disponível em: https://doi.org/10.1080/25765299.2019.1687119

45. Gürbüz S, Çakıcı N, Mehmetoğlu S, Atmaca H, Demir T, Arıgül Apan M, et al. Physicochemical quality characteristics of Southeastern Anatolia honey, Turkey. Int J Anal Chem. 2020;2020:8810029. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2020/8810029

46. Adalina Y, Heryati Y. Characteristics of mangrove honey from the Komodo National Park Area and Kubu Raya Protected Forest. EurAsian J BioSci. 2019;13(2):2407-15.

47. Shamsudin S, Selamat J, Sanny M, Abd Razak SB, Jambari NN, Mian Z, et al. Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. Int J Food Prop. 2019;22(1):239-64. Disponível em: https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576730

48. Da Costa IF, Toro MJU. Evaluation of the antioxidant capacity of bioactive compounds and determination of proline in honeys from Pará. J Food Sci Technol. 2021;58(5):1900-8. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13197-020-04701-1

49. Grosso GS, Tangarife MPO, Méndez LMR. Propiedades fisicoquímicas de mieles monoflorales de encenillo de la zona altoandina en Boyacá, Colombia. Quim Nova. 2017;40:854-64. Disponível em: https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170084

50. Coronado Jorge MF, Ormeño Luna J, Barrera Lozano M, Castillo Díaz T. Physicochemical characters in honeys from the ecosystem of Bajo Mayo, San Martín Region, Peru. Arnaldoa. 2019;26(2):607-22. Disponível em: https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26206

51. Sales KLS, De Lima Barbosa K, Nascimento AB, Aguiar GC, Vasconcelos ÁV, Liberato MDCTC. Caracterização de minerais em méis de abelhas *Apis mellifera* L. e Melipona subnitida D. em diferentes regiões do Ceará. Cienc Tecnol Alim. 2020;9:6. Disponível em: https://doi.org/10.36229/978-65-5866-031-6.CAP.01

52. Mărgăoan R, Topal E, Balkanska R, Yücel B, Oravecz T, Cornea-Cipcigan M, et al. Monofloral honeys as a potential source of natural antioxidants, minerals and medicine. Antioxidants. 2021;10(7):1023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/antiox10071023

53. Sajid M, Yamin M, Asad F, Yaqub S, Ahmad S, Mubarik MAMS, et al. Comparative study of physio-chemical analysis of fresh and branded honeys from Pakistan. Saudi J Biol Sci. 2020;27(1):173-6. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.014

54. Meda A, Lamien CE, Romito M, Millogo J, Nacoulma OG. Determination of total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. Food Chem. 2005;91:571-7. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006

55. Wisniewski J, Hacke ACM, Mazer Etto R, Boligon AA, Takeda I, Marques JA, et al. Evaluation of the antioxidant activity and phenolic composition of different monofloral and polyfloral Brazilian honey extracts. Chem Biodivers. 2024;21(9):e202400971. Disponível em: https://doi.org/10.1002/cbdv.202400971

56. Galhardo D, Garcia RC, Schneider CR, Braga GC, Chambó ED, França DLBD, et al. Physicochemical, bioactive properties and antioxidant of *Apis mellifera* L. honey from western Paraná, Southern Brazil. Food Sci Technol. 2020;41:247-53. Disponível em: https://doi.org/10.1590/fst.11720

57. Bueno-Costa FM, Zambiazi RC, Bohmer BW, Chaves FC, Da Silva WP, Zanusso JT, et al. Antibacterial and antioxidant activity of honeys from the state of Rio Grande do Sul, Brazil. LWT Food Sci Technol. 2016;65:333-40. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.018

58. Nayaka NMD, Fidrianny I, Hartati R, Singgih M. Antioxidant and antibacterial activities of multiflora honey extracts from the Indonesian Apis cerana bee. J Taibah Univ Med Sci. 2020;15(3):211-7. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2020.04.005

59. Srećković NZ, Mihailović VB, Katanić-Stanković JS. Physico-chemical, antioxidant and antimicrobial properties of three different types of honey from central Serbia. Kragujevac J Sci. 2019;41:53-68. Disponível em: https://doi.org/10.5937/KgJSci1941053S

60. Sant'Ana LDO, Buarque Ferreira AB, Lorenzon MCA, Berbara RLL, Castro RN. Correlation of total phenolic and flavonoid contents of Brazilian honeys with colour and antioxidant capacity. Int J Food Prop. 2014;17(1):65-76. Disponível em: https://doi.org/10.1080/10942912.2011.614368

61. Habryka C, Socha R, Juszczak L. The effect of enriching honey with propolis on the antioxidant activity, sensory characteristics, and quality parameters. Molecules. 2020;25(5):1176. Disponível em: https://doi.org/10.3390/molecules25051176

62. Zhang P, Zhu H. Anthocyanins in plant food: current status, genetic modification, and future perspectives. Molecules. 2023;28(2):866. Disponível em: https://doi.org/10.3390/molecules28020866

63. Seraglio SKT, Schulz M, Brugnerotto P, Silva B, Gonzaga LV, Fett R, et al. Quality, composition and health-protective properties of citrus honey: a review. Food Res Int. 2021;143:110268. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110268