



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

JOSÉ AUGUSTO DE SOUZA

**FUNCIONALIDADES EM MÉIS DE ABELHA-SEM-FERRÃO
DE REGIÕES DO PARANÁ, FRENTE A SUA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ANTIMICROBIANA,
ANTIOXIDANTE E POTENCIAL PREBIÓTICO**

JOSÉ AUGUSTO DE SOUZA

**FUNCIONALIDADES EM MÉIS DE ABELHA-SEM-FERRÃO
DE REGIÕES DO PARANÁ, FRENTE A SUA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ANTIMICROBIANA,
ANTIOXIDANTE E POTENCIAL PREBIÓTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Estadual de Londrina - UEL,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Mestre em Ciência e Tecnologia em
Alimentos.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Wilma Aparecida
Spinosa.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Karla Bigetti
Guergoletto.

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

S729f Souza, José Augusto de .
Funcionalidades em méis de abelha-sem-ferrão de regiões do Paraná, frente a sua composição química, atividade antimicrobiana, antioxidante e potencial prebiótico / José Augusto de Souza. - Londrina, 2023.
70 f. : il.

Orientador: Wilma Aparecida Spinosa.
Coorientador: Karla Bigetti Guergoletto.
Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Meliponíneos - Tese. 2. Funcionalidades - Tese. 3. Abelha-sem-ferrão - Tese. 4. Prebióticos - Tese. I. Spinosa, Wilma Aparecida . II. Bigetti Guergoletto, Karla. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. IV. Título.

CDU 641.1

JOSÉ AUGUSTO DE SOUZA

**FUNCIONALIDADES EM MÉIS DE ABELHA-SEM-FERRÃO
DE REGIÕES DO PARANÁ, FRENTE A SUA
COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ANTIMICROBIANA,
ANTIOXIDANTE E POTENCIAL PREBIÓTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Estadual de Londrina - UEL,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Mestre em Ciência e Tecnologia em
Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Profa. Dra. Wilma Aparecida
Spinosa
Universidade Estadual de Londrina — UEL

Prof. Dr. Pedro Henrique Cardines de Freitas
Universidade Estadual de Londrina — UEL

Profa. Dra. Giselle Aparecida Nobre Costa
Universidade Estadual de Londrina — UEL

Prof. Dra. Carolina Saori Ishii Mauro
Universidade Positivo

Prof. Dr. Marsilvio Lima de Moraes Filho
Universidade Estadual de Londrina — UEL

Londrina, 15 de setembro de 2023.

SOUZA, Augusto José. **Funcionalidades em méis de abelha-sem-ferrão de regiões do paraná, frente a sua composição química, atividade antimicrobiana, antioxidante e potencial prebiótico**. 2023. 69 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado — Centro de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo a investigação da atividade antioxidante, atividade antimicrobiana e potencial efeito prebiótico, juntamente com a caracterização físico-química e a análise dos grupos funcionais por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-MIR) em seis amostras de mel originárias de diversas regiões do Estado do Paraná. As espécies estudadas abrangeram *Tetragona clavipes*, *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona bipunctata* e *Melipona quadrifasciata*, todas coletadas no ano de 2021. Foram conduzidas análises físico-químicas abrangendo parâmetros como açúcar redutor, sólidos solúveis ($^{\circ}$ BRIX), cinzas, acidez livre, pH, Hidroximetilfurfural (HMF), atividade de água (A_w) e coloração. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, e correlações entre os parâmetros físico-químicos e as propriedades antioxidantes foram exploradas por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), com um nível de significância estabelecido em ($p < 0,05$). Adicionalmente, a análise de componentes principais (PCA) foi empregada para reduzir a dimensionalidade dos dados obtidos durante a caracterização dos açúcares por FT-MIR. Para avaliar o potencial prebiótico dos méis, cepas probióticas de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* foram cultivadas em meios de cultura De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) e De Man, Rogosa and Sharpe (MRS+ Cisteína, contendo diferentes fontes de mel. Glicose e frutooligossacarídeo (FOS) foram utilizados como controles. Os resultados revelaram variabilidade nos méis de abelhas-sem-ferrão, com teores de açúcar redutor variando entre 59,26% e 72,76%, sólidos solúveis de 26,27 a 69,03 $^{\circ}$ Brix, cinzas de 0 a 0,2 g por 100 g de mel, acidez livre de 69,39 a 205,4 mEq kg⁻¹, pH de 3,48 a 4,70, teor de HMF variando entre 7,45 e 23,42 mg Kg⁻¹, valores de A_w entre 0,72 e 0,88, e amostras exibiram uma variação de cor de âmbar claro a âmbar escuro. Os caldos suplementados com os méis da região de São José dos Pinhais, como Tubuna (TB.S) e Borá (BR.S), demonstraram resultados semelhantes (7,57 e 7,55 log UFC mL⁻¹) em comparação com glicose e FOS. Os resultados de atividade antioxidante *in vitro* apresentaram percentagens de inibição (RAS) pelo método ABTS•+ variando de 54,28% a 82,29% e valores FRAP variando entre 2669 e 3992 μ mol Fe²⁺/g de mel, com teores de compostos fenólicos totais variando entre 481 e 1089 mg por 100 g de mel. A análise de açúcares por espectroscopia FT-MIR indicou a presença de glicose, sacarose e frutose nas amostras, com características espectrais identificadas nas faixas de números de onda entre 1104 e 950 cm⁻¹. Quanto à análise antimicrobiana *in vitro*, as cepas patogênicas testadas demonstraram sensibilidade, com Concentração Mínima Inibitória (CMI) variando de 6,25% a 50% de inibição. E este estudo revelou que os méis de abelhas-sem-ferrão exibiram propriedades estimulantes no crescimento das cepas probióticas avaliadas, com resultados favoráveis comparáveis às fontes tradicionais de prebióticos, como FOS e glicose.

Palavras-chave: abelhas-sem-ferrão; atividade antioxidante; efeito prebiótico; análise de açúcares; espectroscopia FT-MIR; atividade antimicrobiana.

SOUZA, Augusto, José. **Functionalities in honey from stingless bee from regions of Paraná, in terms of their chemical composition, antimicrobial activity, antioxidant and prebiotic potential**. 2023. 69 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado — Centro de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the antioxidant activity, antimicrobial activity, and potential prebiotic effects, along with the physicochemical characterization and analysis of functional groups using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-MIR) in six honey samples originating from various regions of the State of Paraná. The studied species included *Tetragona clavipes*, *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona bipunctata*, and *Melipona quadrifasciata*, all collected in the year 2021. Physicochemical analyses were conducted to assess parameters such as reducing sugar, soluble solids (°Brix), ash content, free acidity, pH, Hydroxymethylfurfural (HMF), water activity (Aw), and color. The data collected underwent analysis of variance, and correlations between the physicochemical parameters and antioxidant properties were explored using the Pearson correlation coefficient (r), with a significance level set at ($p < 0.05$). Additionally, Principal Component Analysis (PCA) was employed to reduce the dimensionality of the data obtained during the characterization of sugars by FT-MIR. To assess the potential prebiotic effects of the honeys, probiotic strains of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* were cultured in De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) and De Man, Rogosa and Sharpe (MRS + Cysteine) media containing different honey sources. Glucose and fructooligosaccharide (FOS) were used as controls. The results revealed significant variability in the stingless bee honeys, with reducing sugar levels ranging from 59.26% to 72.76%, soluble solids from 26.27 to 69.03 °Brix, ash content between 0 and 0.2 g per 100 g of honey, free acidity ranging from 69.39 to 205.4 mEq kg⁻¹, pH levels from 3.48 to 4.70, HMF content varying between 7.45 and 23.42 mg per Kg⁻¹, Aw values between 0.72 and 0.88, and samples exhibiting a range of colors from light amber to dark amber. The broths supplemented with honey from the São José dos Pinhais region, such as Tubuna (TB.S) and Borá (BR.S), showed similar results (7.57 and 7.55 log CFU mL⁻¹) compared to glucose and FOS. In terms of *in vitro* antioxidant activity, the results demonstrated inhibition percentages (RAS) using the ABTS•+ method ranging from 54.28% to 82.29% and FRAP values ranging from 2669 to 3992 µmol Fe2+/g of honey. The total phenolic compound content varied from 481 to 1089 mg per 100 g of honey. The analysis of sugars using FT-MIR spectroscopy indicated the presence of glucose, sucrose, and fructose in the samples, with spectral features identified in the wavenumber range between 1104 and 950 cm⁻¹. Regarding the *in vitro* antimicrobial analysis, the tested pathogenic strains exhibited sensitivity, with Minimum Inhibitory Concentration (MIC) values ranging from 6.25% to 50% inhibition. In conclusion, this study demonstrated that stingless bee honeys displayed stimulating properties on the growth of the evaluated probiotic strains, with favorable results comparable to traditional sources of prebiotics, such as FOS and glucose.

Key-words: stingless bees; antioxidant activity; prebiotic effect; sugar analysis; FT-MIR spectroscopy; antimicrobial activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Abelha <i>APIS MELLIFERA</i>	16
Figura 2 –	Diversificação de abelhas-sem-ferrão	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Composição básica de mel de <i>APIS MELLIFERA</i>	18
Tabela 2	–	Padrão de identidade e qualidade do mel de <i>APIS MELIFERA</i>	20
Tabela 3	–	Comparação de compostos nutricionais em méis de abelhas- sem-ferrão E <i>APIS MELLIFERA</i>	21

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	11
	CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
1.	ABELHAS	14
2.	MEL	17
2.1	Definição e composição físico-química	17
2.1	Funcionalidades do mel	22
2.1.1	Propriedades antioxidantes.....	22
2.1.2	Atividade antimicrobiana.....	24
2.1.3	Atividade prebiótica.....	26
	REFERÊNCIAS	29
	CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO	38
	Introdução.....	41
	Materiais e métodos.....	43
	Amostras de mel de abelha-sem-ferrão.....	43
	Análises dos parâmetros físico-químicos.....	43
	Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante.....	44
	Compostos fenólicos totais.....	44
	FRAP - capacidade de redução férrica.....	44
	Sequestro do radical ABTS•+.....	44
	Caracterização de açúcares dos méis por FT-MIR.....	45
	Avaliação da atividade antimicrobiana.....	45
	Avaliação do potencial efeito prebiótico do mel.....	45
	Cepas bacterianas e preparo do inóculo.....	46
	Crescimento bacteriano nas amostras de méis.....	46
	Análise estatística.....	46
	Resultados e discussões.....	46

Análise dos parâmetros físico-químicos	46
Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante.....	48
Caracterização dos açúcares dos méis por FT-MIR.....	49
Atividade antimicrobiana.....	51
Efeito do mel de abelha no crescimento de probiótico.....	52
Conclusão	53
Referências	54

INTRODUÇÃO GERAL

Estima-se que cerca de 75% da produção mundial de alimentos depende da polinização realizada por abelhas e outros insetos polinizadores (IPBES, 2016). Sendo que a presença desde durante o processo de plantio consegue impactar positivamente na qualidade dos frutos e sementes produzidos (GARIBALDI et al., 2013). As abelhas, por sua vez, apresentam destaque nesse processo são as principais agentes de muitos desses cultivos. Estudos mostram que a polinização por abelhas pode aumentar a produção de frutas e sementes em até 40%, além de melhorar a uniformidade e o tamanho dos frutos (GARIBALDI et al., 2013). A polinização por abelhas também pode aumentar a resistência das plantas a doenças e a estresses ambientais, além de contribuir para a manutenção da biodiversidade e a preservação de ecossistemas naturais (KREMEN et al., 2007).

Diante de tal perspectiva, a criação de abelhas tanto para cultivo quanto para a extração de mel, pólen, própolis e produção de cera é considerada uma atividade secular em nossa sociedade (AIZEN et al., 2009). Duas grandes linhas de produção desses produtos são destaque no Brasil: a apicultura e a meliponicultura. A apicultura com a criação racional de *Apis mellifera* é amplamente difundida e estudada, com maior produção e comercialização de mel (VIEIRA, 2012). Já a meliponicultura é a atividade de criação de abelhas-sem-ferrão (*Meliponinae* spp.) na qual seus estudos e sua comercialização ainda são recentes em todo o mundo (SOUSA et al., 2013; VILLAS-BÔAS, 2012; WALDSCHMIDT; COSTA, 2007).

A meliponicultura é difundida em países tropicais e subtropicais, principalmente quando se trata da criação racional de abelhas com ferrão atrofiado. Essa subfamília (*Meliponinae* spp.), pode ser dividida em três tribos: Meliponini, Trigonini e Lestrimelittini. Elas possuem hábitos distintos das demais abelhas como a coleta de néctar de plantas mais rasteiras, revoadas curtas para buscar alimento, colmeias em sentido horizontal sem a elaboração de favos para armazenamento do mel, formação de potes para reserva de alimento e sua criação pode ser feita em locais próximos a residências, podendo ser manejadas por pessoas de várias idades (NOGUEIRA-NETO, 1997; OLIVEIRA; SANTOS, 2011; VILLAS-BÔAS, 2012).

Os méis produzidos por abelhas-sem-ferrão possuem características únicas que variam de espécie para espécie, de origem floral e de estação da colheita. Cada

um com características sensoriais próprias cor, sabor, odor e textura, eles possuem em sua composição básica, glicose, frutose e água. possuem diversos compostos minoritários como proteínas, enzimas, minerais, vitaminas, ácidos orgânicos, compostos voláteis, compostos fenólicos, carotenoides incluindo compostos com atividade antioxidante e antimicrobiana (SILVA et al., 2013).

Apesar dos benefícios associados ao consumo do mel de abelha-sem-ferrão, não há estudos científicos suficientes que abordem as propriedades funcionais e os potenciais alimentícios e medicinais deste substrato. Portanto, é importante aprofundar o conhecimento sobre as características físico-químicas, microbiológicas e nutricionais dos méis de abelha-sem-ferrão, bem como investigar suas atividades biológicas e potenciais efeitos terapêuticos. Assim, este estudo verifica as propriedades funcionais como: potencial prebiótico, antimicrobiano e antioxidante dos méis de abelha-sem-ferrão do estado do Paraná.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. ABELHAS

Os insetos constituem a classe Insecta, que pertence ao filo Arthropoda e é dividida em várias ordens. Uma delas é a ordem *Hymenoptera*, que compreende as formigas, as vespas e as abelhas. Dentro dessa ordem, as abelhas pertencem à superfamília *Apoidea*. A abelha mais popular é a *Apis mellifera*, (Figura 1) famosa pelo ferrão e sua picada dolorida e também por estar em todo o Brasil e por produzir a maior parte do mel que consumimos. Outro grupo importante são as abelhas nativas sem ferrão (Figura 2). São conhecidas também como abelhas indígenas ou meliponíneos, pois pertencem à tribo *Meliponini*. (Associação Brasileira de Estudos das Abelhas, 2023).

Estima-se que existam cerca de 500 espécies diferentes de abelhas-sem-ferrão e elas podem produzir o mel e subprodutos como cera, própolis e o pólen (MENEZES, 2020; OLIVEIRA et al., 2013).

Segundo o relatório da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES) sobre polinizadores, polinização e produção de alimentos, as abelhas são os principais polinizadores de plantas com flores em todo o mundo, sendo responsáveis pela polinização de cerca de 75% dos principais cultivos agrícolas e cerca de 94% de algumas culturas específicas. As abelhas, assim como outros polinizadores são fundamentais para a manutenção da biodiversidade e da saúde dos ecossistemas, promovendo serviços que beneficiam a fauna e a flora terrestre (IPBES, 2016).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) enfatiza a importância da polinização para a segurança alimentar global e para a conservação da biodiversidade. Estima-se que mais de 75% das culturas alimentares mundiais dependem da polinização, e que a contribuição econômica dos polinizadores é estimada em cerca de US\$ 235 – 577 bilhões anualmente (FAO, 2020)

Além disso, a FAO destaca que a polinização é um serviço ecossistêmico ameaçado por fatores como a destruição do habitat natural, o uso de agrotóxicos e o impacto das mudanças climáticas. Assim, a organização recomenda a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que promovam a diversidade vegetal e a preservação dos polinizadores, destacando a necessidade da conscientização pública sobre a importância da polinização para a segurança alimentar e a conservação da biodiversidade (COSTA; OLIVEIRA, 2014).

Os insetos polinizadores, apesar de essenciais para a garantia da segurança alimentar e da biodiversidade, estão cada vez mais vulneráveis a ações destrutivas do ser humano como desmatamento, queimadas e não cumprimento da legislação ambiental. Supõe-se que, na ausência desses insetos, haveria um desequilíbrio ecológico significativo, impactando negativamente em toda a cadeia alimentar e comprometendo irreversivelmente o bioma (IPBES, 2019).

De acordo com um relatório da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES), aproximadamente 10% das espécies de abelhas e borboletas em todo o mundo estão ameaçadas de extinção devido às atividades humanas. O relatório alerta que a perda desses polinizadores terá um impacto direto na produção de alimentos, na segurança alimentar e na manutenção dos ecossistemas naturais. Sem a polinização a subsistência de milhões de pessoas em todo o mundo seria diretamente afetada (IPBES, 2019).

Outra medida nociva para polinização seria o abuso de pesticidas e agrotóxicos ou de químicos fortificantes que promovem um super crescimento das plantas, como por exemplo, o uso inadvertido do pesticida Clothianidin que, além de desencadear *Colony Collapse Disorder*¹, age como uma neurotoxina letal aos artrópodes que entram em contato com o pólen contaminado (ROCHA, 2012).

A apicultura inadequada também pode contribuir para extinção das abelhas, pois, se não houver segmento de regras específicas, como de distância de ao menos 800 metros entre os apiários, as abelhas entram em estresse desencadeado pela competição entre indivíduos da espécie, má nutrição e fome (KEER et al., 2005).

As abelhas são criaturas altamente especializadas que dependem inteiramente de recursos florais para sobreviver. De acordo com Roberto et al. (2015), enquanto as abelhas adultas se alimentam principalmente de néctar, as larvas das abelhas são alimentadas com uma mistura de pólen e néctar. Essa alimentação é crucial para o desenvolvimento saudável da prole e, consequentemente, para a saúde e sobrevivência da colmeia. A coleta do néctar e do pólen são atividades com alta especificidade, uma vez que as abelhas podem selecionar, por meio dos sentidos, as plantas com melhores substratos para a produção de mel. O mel é a principal fonte de alimento das abelhas adultas e um produto altamente valorizado pelos seres humanos (COSTA; OLIVEIRA, 2014). Dessa forma, podemos entender a importância

¹ Colony Collapse Disorder é um fenômeno anormal que ocorre quando a maioria das abelhas operárias de uma colônia desaparecem e deixam a rainha.

das abelhas para a manutenção da biodiversidade e da saúde do ecossistema todo. Sem as abelhas para polinizar as plantas, muitas espécies de plantas florescentes seriam incapazes de produzir frutos e sementes, o que afetaria a sobrevivência de outras espécies de animais e plantas que dependem desses frutos e sementes para se alimentar e se reproduzir (IPBES, 2019).

Figura 1 - Abelha *Apis Mellifera*



Fonte: Menezes (2020).

Figura 2 - Diversificação de abelhas-sem-ferrão



** (A) Mandaçaia; (B) Jataí; (C) Manduri; (D) Uruçu Amarela; (E) Tubuna

Fonte: adaptado de Manara (2013).

2. MEL

2.1 DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Segundo a legislação brasileira, o mel é um produto alimentício produzido pelas abelhas *Apis mellifera* a partir do néctar das flores ou secreções de partes vivas das plantas. As abelhas coletam o néctar e, com suas próprias substâncias específicas, transformam em mel, sendo armazenado e maturado nos favos da colmeia. O sabor, aroma, textura e cor do mel variam de acordo com sua origem botânica (BALL, 2007; CRANE, 1983; BRASIL, 2000).

A maturação do néctar em mel ocorre por dois processos: a inversão da sacarose em glicose e frutose e a evaporação do excesso de água. Esse processo de conversão do néctar salivado em mel leva de 1 a 3 dias. As abelhas adicionam o néctar nas células individuais do favo de mel até que a câmara esteja cheia, em seguida, tapam-a com cera recém-produzida (BALL, 2007; CRANE, 1983).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), a produção de mel é uma atividade importante para a subsistência de muitas comunidades rurais em todo o mundo. Além disso, a produção de mel pode gerar renda e emprego em áreas rurais e contribuir para a conservação da biodiversidade. A FAO afirma que “o mel é um produto natural que pode ser produzido com baixo custo e alto valor agregado” (FAO, 2015).

De acordo com Camargo et al., (2013) o processamento do mel envolve diversas etapas, que variam conforme o método utilizado e o objetivo final do processamento. As principais etapas incluem:

Colheita: O mel é colhido diretamente das colmeias, utilizando-se técnicas que minimizem o estresse das abelhas e evitem a contaminação do mel por sujeiras ou detritos.

Extração: O mel é retirado dos favos por meio de processos mecânicos, como a centrifugação, ou por métodos manuais, como a raspagem. Nesta etapa, é importante serem utilizados equipamentos e materiais limpos e adequados para evitar a contaminação do mel.

Filtração: O mel extraído é filtrado para remover impurezas e detritos, como cera, pólen, fragmentos de abelhas e outros resíduos. A filtração pode ser feita por

meio de filtros de malha fina ou por processos de decantação.

Maturação: O mel é deixado em repouso por alguns dias para ocorrer a maturação natural, ou seja, a evaporação do excesso de água e a transformação do açúcar em formas mais estáveis, como a glicose e a frutose.

Envase: Após a maturação, o mel é envasado em recipientes limpos e adequados, como potes de vidro ou plástico, seguindo as normas de segurança e higiene alimentar. É importante destacar que o processamento do mel deve ser feito de forma cuidadosa e responsável, para garantir a qualidade e segurança do produto final.

O mel pode ser classificado segundo a sua origem e existem dois tipos principais de mel, caracterizados pela fonte botânica utilizada pela síntese: mel de florada é produzido a partir do néctar de flores e o mel de melato, de todas as partes vivas de plantas que não sejam flores ou de secreção de insetos sugadores de plantas (SIDDIQUI et al., 2017).

O mel é um produto complexo de alta qualidade, de fácil digestão e assimilação, constituindo-se numa fonte de energia que contribui para o equilíbrio dos processos biológicos por conter, em proporções adequadas, fermentos, vitaminas, ácidos, aminoácidos, substâncias bactericidas e aromáticas (KOMATSU, MARCHINI e MORETI, 2002). A Tabela 1 apresenta a composição básica de méis de *Apis mellifera*.

Tabela 1- Composição básica de mel de *Apis mellifera*

Componentes	Valores Médios	Valores extremos
Água (%)	17,20	13,40-23,90
Frutose (%)	38,20	27,20-44,30
Glicose (%)	31,30	22,00-40,80
Sacarose (%)	1,31	0,35 - 7,57
Maltose (%)	7,31	2,74 - 16,00
Polissacarídeos (%)	1,50	0,13 - 8,49
Nitrogênio (%)	0,04	0,00- 0,13
Minerais (%)	0,17	0,02 - 1,03
Ácidos livres (mEq kg⁻¹)	22,00	6,75 - 47,20
Lactonas (meq kg⁻¹)	7,11	0,00 - 18,80

Ácidos totais (mEq kg⁻¹)	29,10	8,68 - 59,50
pH	3,91	3,42 - 6,10
Índice de diastase (U/g) *	20,80	2,10 - 61,20

Fonte: Adaptado de Campos et al., (1987).

Os carboidratos presentes no mel representam a maior porção de matéria seca, sendo eles os principais responsáveis pela qualidade e propriedades físicas do mel, como, por exemplo, viscosidade, higroscopicidade, tendências à cristalização. Além de influenciarem em características como valor energético e atividade antibacteriana (CRANE, 1975; WHITE, 1979).

A glicose é o monossacarídeo responsável pela cristalização do mel. A consequência dessa precipitação da glicose é o aumento do teor de umidade, permitindo a multiplicação das leveduras osmofílicas presentes naturalmente no mel, levando a fermentação do produto. Méis com elevados teores de frutose e baixos teores de glicose são menos suscetíveis à cristalização, fenômeno este que diminui a aceitação do mel pelos consumidores (MOREIRA e MARIA, 2001).

O teor de umidade é uma característica importante dos méis, influenciando em aspectos como viscosidade, maturidade, sabor e susceptibilidade ao ataque de microorganismos. Os méis de abelha-sem-ferrão possuem maior teor de umidade se comparadas as abelhas *Apis mellifera*, portanto o mel dessa espécie é um produto menos viscoso e de cristalização mais lenta (SIDDIQUI et al., 2017).

O teor de proteína e aminoácidos em méis variam conforme a espécie de abelha, origem botânica e geográfica. A proteína presente nos méis é atribuída às fontes animais e vegetais dos fluidos e as secreções de néctar das glândulas salivares e faringe. Estima-se que a quantidade de aminoácidos produzidos por uma abelha varia de 10 a 200 mg/100g, sendo a prolina o principal correspondente, cerca de 50% dos aminoácidos (ESCUREDO et al., 2013; SILVA et al., 2016).

O conteúdo de vitaminas e minerais nos méis é variável, e também depende das fontes botânicas. O potássio é o principal mineral encontrado, e corresponde a uma grande parte do total dos minerais presentes (263,0 - 4980 µg g). Diferente dos minerais, as vitaminas encontram-se em pequenas quantidades nos méis, sendo encontradas as vitaminas do complexo B, tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido nicotínico (B3), ácido pantotênico (B5), piridoxina (B6), biotina (B8, B7) e ácido fólico (B9) e a vitamina C. Estas vitaminas são provenientes dos grãos de pólen em

suspensão sendo preservadas devido ao baixo pH apresentado pelo mel (SILVA et al., 2016; BILUCA et al., 2017).

A qualidade do mel é determinada pelas suas propriedades sensoriais e físico-químicas, avaliadas por meio de parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) através da Instrução Normativa n.º 11, de 20 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000), que estabelece padrões relacionados à maturidade, pureza, deterioração do mel incluindo valores de pH, umidade, açúcares, minerais, cinzas, HMF, condutividade elétrica, acidez e atividade diastática, conforme a Tabela 2. Esses valores da legislação contemplam apenas mel de abelhas *Apis mellifera*.

Tabela 2 - Parâmetros de identidade e qualidade do mel de *Apis mellifera*

Parâmetros Físico-Químicos	Limite de Detecção
Açúcares Redutores (%)	> 65,0
Umidade (%)	< 20,0
Sacarose Aparente (%)	< 6,0
Sólidos Insolúveis (%)	< 0,1
Sais Minerais (CINZAS)	< 0,6
Acidez (mEq kg ⁻¹)	< 50,0
Atividade Diastásica (EG)	> 8,0
HMF (mg kg ⁻¹)	< 60,0

Fonte: Brasil (2000).

O mel produzido pelas espécies dos meliponíneos diferem se comparados aos méis da espécie de *Apis mellifera*, sendo a principal característica a diferenciação nos teores da sua composição, destacando-se o teor de água, que o torna menos viscoso que o mel das abelhas africanizadas, a Tabela 3 apresenta a comparação de compostos nutricionais presente em méis de abelha-sem-ferrão e *Apis mellifera*. A cor varia do quase transparente ao âmbar escuro e o gosto e níveis de açúcar dependem da espécie, da época, da região e principalmente, da florada (JUST, S e NESPOLO, C., 2010).

Tabela 3 - Comparação de compostos nutricionais em méis de abelhas-sem-ferrão e *Apis mellifera*

Análises	Abelhas-sem-ferrão	<i>Apis mellifera</i>
Umidade (g 100g ⁻¹)	13,3 - 56,3	15,0- 19,4
Carboidratos (g 100g ⁻¹)	50,0 - 98,8	77,6 - 86,2
Proteínas (mg/g)	0,12 - 3,1	0,02 -1,8
Lipídios (g 100g ⁻¹)	<0,0 - 0,15	0,02 - 0,04
Sódio (µg/g)	12,7 - 216,0	251,3 - 453,5
Potássio(µg/g)	263,0 - 4980	172,5 - 976,75
Cálcio (µg/g)	88,7 - 138,0	113,8 - 221,1
Magnésio (µg/g)	25,9 - 231,0	37,3 - 78,1
Compostos fenólicos (mg g 100 ⁻¹)	1,3 - 5279,0	26,0 - 618,1
Flavonoides totais (mg EQ g 100 ⁻¹)	1,9 - 5490,0	0,2 - 87,3

Fonte: ÁVILA et al., 2018

A apicultura e a meliponicultura desempenham diversas funções que contribuem para o bem-estar da sociedade. Esta atividade pode desempenhar um papel econômico essencial, criando uma vantagem competitiva através da inovação e melhorando o equilíbrio comercial. Além disso, criam bem-estar para as comunidades, fornecendo produtos que melhoram a saúde da população e proventos decentes para os agricultores (MENEZES, 2020)

A atividade de produção de mel no Brasil desempenha um papel crucial no fornecimento de emprego e renda para muitas famílias, especialmente em áreas rurais. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de mel no país cresceu cerca de 2% entre 2019 e 2020, totalizando 44,9 mil toneladas no último ano (IBGE, 2021).

No ano de 2021, o IBGE estimou que a produção de mel no Brasil foi de aproximadamente 51,5 mil toneladas, representando um aumento de cerca de 12,5% em comparação ao ano anterior. A exportação do mel também aumentou em torno de 52,2% em relação a 2019, sendo que o mercado norte-americano é o principal destino dessas exportações. Os maiores produtores de mel no Brasil estão localizados na região sul do país, responsáveis por cerca de 38% da produção total. Os estados do

Paraná, Rio Grande do Sul, Piauí, Bahia e São Paulo são os maiores produtores de mel no país, segundo o IBGE. Em 2020, foram registrados 3.959 municípios com alguma produção de mel (IBGE, 2021).

O mel brasileiro é conhecido por sua alta qualidade e sabor, sendo exportado para diversos países ao redor do mundo. Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2020, o Brasil exportou cerca de 21,6 mil toneladas de mel, gerando uma receita de US\$56,5 milhões. Os principais destinos das exportações brasileiras de mel são Estados Unidos, Alemanha, Japão e Reino Unido.

Além disso, a produção de mel de abelhas-sem-ferrão é uma atividade muito valorizada no Brasil, devido ao sabor e às propriedades nutricionais desse tipo de mel. As abelhas-sem-ferrão nativas do Brasil são criadas em colmeias especiais, chamadas de meliponários. A produção de mel de abelhas-sem-ferrão é uma atividade importante para comunidades tradicionais, que utilizam o mel tanto para consumo próprio quanto para venda (MENEZES, 2020).

Apesar de ser uma atividade importante, a produção de mel no Brasil enfrenta alguns desafios, como a falta de incentivos governamentais e a baixa tecnificação da apicultura e meliponicultura em algumas regiões. No entanto, a produção de mel continua sendo uma importante fonte de renda e alimento para muitas famílias brasileiras (MENEZES, 2020).

2.1 FUNCIONALIDADES DO MEL

2.1.1 Propriedades Antioxidantes

Atividade antioxidante e capacidade antioxidante são termos que expressam propriedades diferentes em relação a algum composto bioativo, embora algumas vezes sejam reportadas como a mesma propriedade. A atividade antioxidante está relacionada à cinética de ação antioxidante na eliminação de espécies reativas, sendo geralmente expressa como taxa de reação ou porcentagem de eliminação de um determinado radical livre numa determinada unidade de tempo. Já a capacidade

antioxidante determina a eficiência de conversão termodinâmica de espécies reativas por antioxidantes, como, por exemplo, a quantidade de matéria de uma espécie reativa (radicais livres) eliminados por um mol de antioxidante num dado período fixo (ÖZYÜREK et al., 2011).

A proteção contra radicais livres pode ser aumentada pela ingestão de antioxidantes na dieta. Um antioxidante é uma substância que pode interferir em ciclos oxidativos para inibir ou retardar danos oxidativos em biomoléculas. Essas substâncias podem interagir, com segurança, com radicais livres e terminam a reação em cadeia antes de danificar moléculas vitais, utilizando diversos mecanismos: (a) eliminação de espécies que iniciam a peroxidação, (b) quelação de metais para impedir a geração de espécies reativas ou decomposição de peróxidos, (c) interação com O_2 — para a prevenção da formação de peróxidos, (d) interrupção da reação em cadeia auto-oxidativa, e/ou (e) redução de concentrações de O_2 localizadas (SHAHIDI; ZHONG, 2015).

O mel é um produto que contém compostos que exercem esse papel de agente antioxidante, como os flavonoides e compostos fenólicos. Nos últimos anos houve um aumento expressivo no interesse por parte de vários pesquisadores nas propriedades antioxidantes de diversos compostos presentes em diferentes matrizes alimentares, dentre eles o mel (SHAHIDI; ZHONG, 2015).

Considerando que as plantas polinizadas pelas abelhas produzem néctar e esses são utilizados para produção de mel, sabe-se que é possível que os compostos bioativos sintetizados pelas plantas e assim presentes no néctar, podem ser transferidos ao mel (KÜÇÜK et al., 2007; BERTONCELJ et al., 2011). O perfil e a quantidade destes compostos no mel são dependentes de fatores como espécie da planta fornecedora do néctar, condições climáticas e geográficas. Dessa forma, espera-se que méis oriundos de diferentes localidades apresentem atividade antioxidante diferentes (SILICI; SAGDIC; EKICI, 2010).

Os flavonoides e os compostos fenólicos participam da atividade antioxidante do mel, juntamente com uma variedade de compostos nitrogenados (alcalóides, aminoácidos e aminas), carotenoides e vitamina C, sendo amplamente conhecidos por tal atividade (GUTIERREZ et al., 2008; KUMUL et al., 2015; VIT et al., 2008).

As propriedades biológicas dos compostos fenólicos estão relacionadas com a atividade antioxidante que cada fenol exerce sobre determinado meio, que por sua vez, depende da sua estrutura química, podendo ser determinada pela ação da

molécula como agente redutor (RICE-EVANS et al., 1996). Flavonoides ou bioflavonoides, incluindo flavonóis, flavononas, flavonas, isoflavonas e antocianinas, são polifenóis bioativos naturais também denominados suplementos dietéticos que promovem a saúde agindo na prevenção de doenças como o câncer. Além disso, os flavonoides são compostos extremamente seguros e de baixa toxicidade, o que os torna excelentes agentes quimiopreventivos (MIDDLETON; KANDASWAMI; THEOHARIDES, 2000; MOON; WANG; MORRIS, 2006). Sakika et al., (2021), avaliaram propriedades antioxidantes em sete amostras diferentes de mel de abelha-sem-ferrão de diferentes origens botânica e geográficas da Turquia e avaliaram os conteúdos de fenólicos totais e as propriedades antioxidantes por DPPH, FRAP e ABTS e determinaram o perfil dos antioxidantes presentes nos méis estudados. O mel de origem de pinus apresentou maior conteúdo fenólico e propriedades antioxidantes, o estudo mostrou haver relação direta quanto à origem floral dos méis e o conteúdo fenólico e as propriedades antioxidantes.

2.1.2 Atividade Antimicrobiana

A atividade antimicrobiana do mel é resultante da sua própria composição, fazendo sua microbiota ser composta por um número pequeno e uma variedade limitada de microrganismos capazes de se desenvolver em sua matriz. Fatores, como alta osmolaridade, resultante de sua alta concentração de açúcares, presença de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), já considerado por diversos autores como seu principal componente antimicrobiano; compostos fenólicos, baixo pH e baixa atividade de água são relacionados à atividade antimicrobiana do mel (ADAMS; MANLEY-HARRIS; MOLAN, 2009; KARASAWA et al., 2017).

Rosli et., al 2020, testaram a capacidade antimicrobiana em mel de oito espécies de abelha-sem-ferrão, o mel de *Homotrigona fimbriata* apresentou a maior atividade antimicrobiana com inibição contra cinco bactérias; *Serratia marcescens*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Alcaligenes faecalis* e *Staphylococcus aureus*, e foram identificados através de sequenciamento genético 8 filamentos bacterianos, 71 famílias, 155 gêneros e 70 espécies e verificaram que *Lactobacillus malefermentans* pode servir como a bactéria dominante nativa do mel produzido por abelhas-sem-ferrão devido à sua presença consistentemente dominante em todas as oito espécies

de abelhas-sem-ferrão.

Ávila et al. (2019), avaliaram a atividade antimicrobiana em trinta e duas amostras de mel do Estado do Paraná de quatro espécies de abelhas nativas sem ferrão, contra seis espécies de bactérias diferentes três Gram-negativas (*Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium*), três Gram-positivos (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*) e um fungo (*Candida albicans*). E foi verificado que os méis inibiram todos os microrganismos, sendo mais eficaz contra as bactérias Gram-negativas em comparação das Gram-positivas, os autores relatam que as propriedades antimicrobianas estão correlacionadas com o teor de polifenóis e o baixo pH.

O mel tem um forte efeito antimicrobiano contra microrganismos patogênicos e não patogênicos, mesmo contra aqueles que desenvolveram resistência a muitos antibióticos, este efeito pode ser bacteriostático ou bactericida, dependendo da concentração de mel utilizada (ABESHU; GELETA, 2016).

Silva et al., (2022) avaliaram a atividade antimicrobiana em duas amostras de mel de *Melipona quadrifasciata* com a utilização de seis métodos de conservação diferente para as amostras inibiram o crescimento dos microrganismos *S. aureus*, *C. albicans*, *Salmonella typhimurium* e *E. coli*. E no estudo foi possível verificar que diferentes tratamentos em comparação ao mel fresco, possuem um menor efeito inibitório, sendo necessário aumento de duas a quatro concentrações de mel para total inibição das cepas bacterianas, assim as amostras frescas apresentam atividade microbiológicas mais altas, dessa forma a inibição pode indicar atividade antagônica das espécies microbianas no mel em vez da atividade antimicrobiana.

Nishio et al. (2016) verificaram que o mel das espécies sem ferrão *Scaptotrigona bipunctata* e *S. postica* apresentaram atividade antimicrobiana contra diferentes microrganismos Gram positivos e Gram negativos, incluindo duas cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes ao antibiótico metilicina e também o *S. mutans*. Todos os microrganismos foram inibidos na presença dos dois méis, sendo que de forma isolada os microrganismos mostraram-se mais sensíveis ao mel de *Scaptotrigona bipunctata*.

Chan-Rodríguez et al. (2012) ao comparar a atividade antimicrobiana do mel de *Melipona beechei* com o mel de *Apis mellifera* contra bactérias Gram positivas (*Staphylococcus aureus* e *Enterococcus faecalis*) e uma Gram negativa (*Escherichia coli*) verificaram que o mel de *M. beechei* apresentou maior eficácia na inibição de

todos os microrganismos testados, principalmente contra as cepas clinicamente isoladas. Segundo Temaru et al. (2007), as bactérias Gram positivas são mais sensíveis a agentes antimicrobianos do que as Gram negativas. Isso ocorre por não apresentarem uma camada composta de lipopolissacarídeos, presente nas Gram negativas, o que as tornam mais susceptíveis à ação dos compostos bioativos.

2.1.3 Atividade Prebiótica

A microbiota intestinal desempenha papel extremamente importante na saúde, auxiliando no processo de digestão, sintetizando vitaminas e estimulando o sistema imunológico. A função da microbiota está diretamente relacionada com a dieta, uma vez que, interrupções nas relações simbióticas na microbiota, conhecidas como disbiose, podem resultar no desenvolvimento e progressão de diversas doenças (BARBOSA et al., 2010; ILSI, 2014).

O consumo de mel tem sido relacionado com a saúde intestinal e a promoção de uma microbiota saudável. De acordo com um estudo publicado no *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, o mel possui compostos prebióticos, como os oligossacarídeos, que estimulam o crescimento de bactérias benéficas no intestino humano (MOLAN, 2011).

Outra pesquisa realizada na Universidade de Tecnologia de Wroclaw, na Polônia, encontrou uma relação positiva entre o consumo de mel e a diversidade da microbiota intestinal em humanos. O estudo mostrou que o mel pode contribuir para a melhoria da saúde gastrointestinal, além de apresentar propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (KASPROWICZ et al., 2020).

Além disso, um estudo em animais publicado na revista científica *BMC Complementary and Alternative Medicine* verificou que o consumo de mel pode melhorar a composição da microbiota intestinal e reduzir a inflamação em ratos diabéticos. Esses estudos sugerem que o consumo regular de mel pode ser benéfico para a saúde intestinal e contribuir para a manutenção de uma microbiota saudável, o que pode ter implicações positivas para a saúde geral do organismo (Erejuwa et al., 2017).

Os prebióticos são estudados por diferentes técnicas com base em três principais aspectos: digestão, fermentação e o tipo de análise. Para que um prebiótico

seja apropriado, é necessário que a não digestibilidade seja testada. Deve ser resistente à acidez gástrica, hidrólise por enzimas e absorção gastrointestinal, além de observar a estimulação de bactérias benéficas (BAJURY et al., 2017).

A primeira etapa consiste em simular o processo de digestão dos prebióticos por metodologias *in vivo* e *in vitro*, e o principal objetivo é imitar o trato digestivo humano em diferentes estágios da digestão (GARCIA-MAZCORRO et al. 2017).

A segunda etapa, consiste em fermentação dos compostos prebióticos pela microbiota intestinal, e ela pode ser testada no sistema *in vivo* e *in vitro*. Os processos *in vitro* são utilizados o sistema de lote de metodologia é utilizado um sistema contínuo baseados em pH, onde o pH do fermentador é mantido de acordo com o nível apropriado, aplicando a técnica de produção de gás nessas fermentações (VALDÉS-VARELA et al. 2017).

A etapa final é uma análise de ácidos graxos de cadeia curta (SCFs), que são produzidos a partir da fermentação de carboidratos pela microbiota intestinal e um aumento nos microrganismos intestinais, que pode ser feito por várias estratégias (ARYANTINI et al. 2017).

Leite et al (2000), avaliaram quatorze méis de abelha de *Apis Melífera* do Brasil e quantificaram diferentes carboidratos, entre eles os dissacarídeos e trissacarídeos (turanose, nigerose, melibiose, sacarose e isomaltose) e quatro trissacarídeos (maltotriose, panose, melezitose e rafinose). O potencial prebiótico em mel de melada de *Apis melífera* foi avaliado por Sanz et al (2005), em duas regiões da Espanha através de um sistema de fermentação *in vitro*, demonstrou um aumento na população de bifidobactérias e lactobacilos após os ensaios. Macedo et al (2008), avaliaram o potencial prebiótico do mel de abelha *Apis mellífera* sobre crescimento e a viabilidade *Bifidobacterium spp.* e *Lactobacillus spp* em bebida láctea fermentada durante um período de estocagem de 46 dias e verificaram que houve resultado significativo para o aumento das bactérias do gênero *Bifidobacterium spp.*

Já Melo et al. (2020) em seu estudo, avaliaram o potencial prebiótico em quatro espécies de méis de abelha-sem-ferrão (Juazeiro, Jurema branca, Jandaíra e Uruçu) do semi-árido nordestino brasileiro com cepas de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*. E verificaram que juazeiro e jandaíra apresentaram maiores potenciais prebióticos.

Um estudo realizado em 2017 avaliou a atividade prebiótica dos méis de jataí e urucu em culturas de bactérias intestinais. Os resultados mostraram que ambos os méis apresentaram efeito prebiótico, estimulando o crescimento de bactérias

benéficas como *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*. Os pesquisadores concluíram que os méis de abelha-sem-ferrão podem ser considerados fontes alternativas de prebióticos naturais (TAKAKURA et al., 2017).

REFERÊNCIAS

ABESHU, M. A.; GELETA, B. Medicinal uses of honey. **Biology and medicine**, v.8, n.2, p.1-7, 2016.

ADAMS, C. J.; MANLEY-HARRIS, M.; MOLAN, P. C. The methylglyoxal in New Zeland Manuka (*Leptospermum scoparium*) honey. **Carbohydrate Research**, v.344, p.1050-1053, 2009.

AGUS, A; DENIZOT, J; THÉVENOT, J; MARTINEZ-MEDINA, M; MASSIER, S; SAUVANET, P; BERNALIER-DONADILLE, A; DENIS, S; HOFMAN, P; BONNET, R. Western diet induces a shift in microbiota composition enhancing susceptibility to Adherent-Invasive *E. coli* infection and intestinal inflammation. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 187-193, 8 jan. 2016.

AIZEN, M. A.; GARIBALDI, L. A.; CUNNINGHAM, S. A.; KLEIN, A. M. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. **Current Biology**, v. 19, n. 18, p. 1572-1575, 2009.

ARYANTINI, N, P, D, YAMASAKI, E.; KURAZONO, H.; SUJAYA, I, N.; URASHIMA, T.; FUKUDA, K,. In vitrosafety assessments and antimicrobial activities of *Lactobacillus rhamnosus* strains isolated from a fermented mare's milk. **Animal Science Journal**, v. 88, n. 3, p. 517-525, 2016.

ÁVILA, S.; BEUX, M. R.; RIBANI, R. H.; ZAMBIAZI, R.C. Stingless bee honey: quality parameters, bioactive compounds, health-promotion properties and modification detection strategies. **Trends In Food Science & Technology**, v. 81, p. 37-50, nov. 2018.

ÁVILA, S; HORNUNG, P; S; TEIXEIRA, G; L; MALUNGA, L; N; APEA-BAH, F; B; BEUX, M; R; BETA, T; RIBANI, R; H. Bioactive compounds and biological properties of Brazilian stingless bee honey have a strong relationship with the pollen floral origin. **Food Research International**, [S.L.], v. 123, p. 1-10, set. 2019.

BAJURY, D, M.; NASHRI, S, M.; HUNG, P,K, J.; SARBINI, S, R,. Evaluation of potential prebiotics: a review. **Food Reviews International**, v. 34, n. 7, p. 639-664, 9 out. 2017.

BALL, D. W. The chemical composition of honey. **Journal of Chemical Education**, v.84, n.10, p.1643-1646, 2007.

BARBOSA, F. H. C. R. et al. Microbiota intestinal: relação entre a dieta, a saúde e a doença. **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 47, n. 4, p. 391-398, Dec. 2010.

BERTONCELJ, J. et al. LC-DAD-ESI/MS analysis of flavonoids and abscisic acid with chemometric approach for the classification of Slovenian honey. **Food Chemistry**, v. 127, p. 296-302, 2011.

BILUCA, F.C.; GOIS, J.S.; SCHULZ, M.; BRAGHINI, F.; GONZAGA, L.V.; MALTEZ, H.F.; RODRIGUES, E.; VITALI, L.; MICKE, G.; BORGES, D. L.G. Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (Meliponinae). **Journal Of Food Composition And Analysis**, [S.L.], v. 63, p. 89-97, out. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 11 de 20 de outubro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de mel.

CAMPOS, R. G. M. Contribuição para o estudo do mel, pólen, geleia real e própolis. Boletim da Faculdade de Farmácia de Coimbra, vol.11, n.2, p.17-47, 1987.

COSTA, C.C. De A.; OLIVEIRA, F.L. Polinização: serviços ecossistêmicos e o seu uso na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p.1-10, 2014.

CRANE, E. O livro do mel. São Paulo: Nobel, 1983, 226p.

DA SILVA, A. M.; TAVARES, A. G.; DE AQUINO, P. E. A. Honey from stingless bees: chemical composition and therapeutic potential. **Journal of Functional Foods**, v. 79,

p. 104404, 2021.

DUARTE, A; W; F; VASCONCELOS, M; R; S; ODA-SOUZA, M; OLIVEIRA, F; F; LÓPEZ, A; M; Q. Honey and bee pollen produced by Meliponini (Apidae) in Alagoas, Brazil: multivariate analysis of physicochemical and antioxidant profiles. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 493-503, 11 jun. 2018.

EREJUWA, O. O., SULAIMAN, S. A., & AB WAHAB, M. S. (2017). Honey supplementation in spontaneously hypertensive rats elicits antihypertensive effect via amelioration of renal oxidative stress. **Oxidative medicine and cellular longevity**, 2017.

ESCUREDO, O. et al. Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2–3, p. 851–856, 2013.

FAO. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture –the international response. In: FREITAS, B.M.; PEREIRA, J.O.P. Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination, 2004. P. 19-25.

FAO. Conservation of honeybees and other pollinators: A global survey. In: HALVORSON, K et al. 2020. P. 19-25.

FERREIRA, C. D., et al. Melipona subnitida honey modulates gut microbiota and reduces inflammatory cytokines in a rodent model. **Food Research International**, 138, 109782, 2020

GARCIA-MAZCORRO, J, F.; BARCENAS-WALLS, J, R.; SUCHODOLSKI, J, S.; STEINER, J, M. Molecular assessment of the fecal microbiota in healthy cats and dogs before and during supplementation with fructo-oligosaccharides (FOS) and inulin using high-throughput 454-pyrosequencing. **Peerj**, v. 5, p. 184-193, 2017.

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.

GIBSON, G. R. et al. The International Scientific Association for Probiotics and

Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 14, p. 491-502, 2017.

GUTIÉRREZ, M. G.; RODRÍGUEZ, M. A.; VIT, P. Miel de abejas: una fuente de antioxidantes. **Revista Fuerza Farmacéutica**, v.12, n.1, p.1-5, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/mel-de-abelha/br>. Acesso em: 12 set. 2023.

ILSI. Intestinal microbiota and immune function: Proceedings of a conference co-sponsored by the International Life Sciences Institute and the Nestle Foundation. Nestle Nutrition Institute Workshop Series, v. 79, p. 1-260, 2014.

IPBES. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany: **IPBES** secretariat, 2016.

JUST, S.; NESPOLO, C. O mel e suas propriedades. **SB Rural – Caderno Rural**, ed. 47, p. 1, 2010.

KARASAWA, K.; HARAYA, S.; OKUBO, S.; ARAKAWA, H. Novel assay of antibacterial components in Manuka honey using lucigenin-chemiluminescence HPLC. **Analytica Chimica Acta**, v.954, p.151-158, 2017.

KASPROWICZ, M., KĘDZIERSKA-MIESZKOWSKA, S., CZERNICKI, M., Jezierska-Domaradzka, A., & Łakomiec, J. (2020). The effect of honey on the human gut microbiota. **Food & Function**, 11(8), 6976-6984.

KHANGWAL, I, SHUKLA, P, Prospecting prebiotics, innovative evaluation methods, and their health applications: a review. 3 **Biotech**, v. 9, n. 5, p. 187-193. 2019.

KOMATSU, S.S.; MARCHINI, L.C.; MORETI, A.C.C.C. Análises físico-químicas de

amostras de méis de flores silvestres, de eucalipto e de laranjeira, produzidos por *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera, apidae) no estado de São Paulo. Conteúdo de açúcares e de proteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 2, p. 143-146, 2002.

KREMEN, C. et al. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. **Ecology letters**, v. 10, n. 4, p. 299-314, 2007.

KÜÇÜK, M. et al. Biological activities and chemical composition of three honeys of different typed from Anatolia. **Food Chemistry**, v. 100, n. 2, p. 526-534, 2007.

KUMUL, R. C.; RUIZ, J. C. R.; VÁZQUEZ, E. O.; CAMPOS, M. R. S. Potencial antioxidante de la miel de *Melipona beecheii* y su relación com la salud: uma revisão. **Nutrición Hospitalaria**, v.32, n.4, p.1432-1442, 2015.

LEITE, J.M, C; TRUGO, L.C; COSTA, L.M; QUINTEIRO, L.M.C; BARTH, O.M; DUTRA, V.M.L; MARIA, C.A.B de. Determination of oligosaccharides in Brazilian honeys of different botanical origin. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 93-98, jul. 2000.

MACEDO, L. Et Al. Efeito prebiótico do mel de abelha *Apis mellifera* sobre o crescimento e viabilidade *Bifidobacterium* spp. E *Lactobacillus* spp. Em bebida láctea fermentada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2008.

MANARA, F.T. Milionário abelhas de ouro. Disponível em:<<http://abelhadeouro.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 17 dez. 2022.

MEDEIROS, A. B. P., et al. Prebiotic potential of honey produced by Brazilian stingless bees. **Food Research International**, 99(Pt 1), 945-95, 2016

MELO, F.H. C.; MENEZES, F. N.D. D.; SOUSA, J. M. B.; LIMA, M. S.; BORGES, G. S.C.; SOUZA, E.L.; MAGNANI, M. Prebiotic activity of monofloral honeys produced by

stingless bees in the semi-arid region of Brazilian Northeastern toward *Lactobacillus acidophilus* LA-05 and *Bifidobacterium lactis* BB-12. **Food Research International**, v. 128, p. 108809, fev. 2020.

MENEZES, C. Meliponicultura Aspectos Biológicos. Dados eletrônicos. – Taubaté. **EdUnitau**, 2020. 101 p., 2020.

MIDDLETON, JR. E.; KANDASWAMI, C.; THEOHARIDES, T.C. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews*, v.52, 673-751, 2000.

MOLAN, P. The evidence supporting the use of honey as a wound dressing. *International Journal of Lower Extremity Wounds*, 10(4), 224-237, 2011.

MOON, Y.J.; WANG, X.; MORRIS, M.E. Dietary flavonoids: effects on xenobiotic and carcinogen metabolism, **Toxicology in Vitro**, v.20, p.187-210, 2006.

MOREIRA, R.F.A.; MARIA, C.A.B. de. Glicídios no mel. **Química Nova**, v. 24, n. 4, p. 516-525, 2001.

OLIVEIRA Et al., Guia Ilustrado das Abelhas " Sem-Ferrão " das Reservas Amaná e Mamirauá. Amazonas, Brasil. 2013.

ORIACH, C. S.; ROBERTSON, R. C.; STANTON, C.; CRYAN, J. F.; DINAN, T. G. Food for thought: the role of nutrition in the microbiota-gut-brain axis. **Clinical Nutrition Experimental**, v. 6, p. 25-38, 2016.

RIBEIRO, F. M.; PERREIRA, M. F.; LOPES, R. T. M.; MEIRELLES, N. R. Apicultura e meliponicultura. 1º Edição. Brasília-DF Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido, 2019.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Structure antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine**, v.20, n.7, p.933-956, 1996.

ROBERTO, G.B.P.et al. As abelhas polinizadoras nas propriedades rurais. Rio de Janeiro: Funbio, 2015.

ROCHA, M.C.L.S.A. Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil: proposta metodológica de acompanhamento. Brasília: Ibama, 2012.

ROSLI, F; N; HAZEMI, M; H; F; AKBAR, M; A; BASIR, S; KASSIM, H; BUNAWAN, H. Stingless Bee Honey: evaluating its antibacterial activity and bacterial **diversity**. *Insects*, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 500, 4 ago. 2020.

SAKIK, K; A; SAIMAN, M; Z; ZAMAKSHSHARI, N; H; AHMED, I; A; NASHARUDDIN, M; N; A; Hashim, N; M. Analysis of Antioxidant Properties and Volatile Compounds of Honey from Different Botanical and Geographical Origins. *Sains Malaysiana*, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 1111-1121, 30 abr. 2022.

SANTOS, D. O.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; FREITAS, A. S. Honey from *Melipona quadrifasciata* and the health benefits. **Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases**, v. 23, n. 1, p. 42, 2017.

SANZ, M, L POLEMIS, N, MORALES, V,; CORZO, N,; DRAKOULARAKOU, A; GIBSON, G, R.; RASTALL, R, A. In Vitro Investigation into the Potential Prebiotic Activity of Honey Oligosaccharides. **Journal Of Agricultural and Food Chemistry**, [S.L.], v. 53, n. 8, p. 2914-2921, 18 mar. 2005.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. **Journal of functional foods**, 2015.

SIDDIQUI, A. J. MUSHARRAF, S. G.; CHOUDHARY, M. I; RAHMAN, A. Application of analytical methods in authentication and adulteration of honey. **Food Chemistry**, v. 217, n. September, p. 687–698, 2017.

SILICI, S.; SAGDIC, O.; EKICI, L. Total phenolic content, antiradical, antioxidant and antimicrobial activities of *Rhododendron* honeys. **Food Chemistry**, v. 121, n. 1, p. 238-

243, 2010.

SILVA, I. A. A. da. Et al. Phenolic profile, antioxidant activity and palynological analysis of stingless bee honey from Amazonas, Northern Brazil. **Food Chemistry**, Paraíba, v. 141, n. 4,

SILVA, P. M.; GAUCHE, C.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. N. Honey: chemical composition, stability and authenticity. **Food Chemistry**, v.196, p.309-323, 2016.

SILVA, T; M; F; DE S; S; ÁVILA, S; MATOS, M; G; JUNKERT, A; M; FRIZON, C; N; T; PONTAROLO, R; BEUX, M; R; FERREIRA, S; M; R. Effect of preservation methods on antimicrobial activity, and nutritional and microbiological quality of *Melipona quadrifasciata* bee honey. **Journal Of Food Processing And Preservation**, [S.L.], v. 46, n. 10, p. 327-345, 18 jul. 2022.

SOUSA, J; M; SOUZA, E; L; MARQUES, G; MEIRELES; B; CORDEIRO, Â; T; DE M; GULLÓN, B; PINTADO, M; M; MAGNANI, M. Polyphenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honeys produced by *Meliponini* in the Brazilian semiarid region. **Food Research International**, [S.L.], v. 84, p. 61-68, jun. 2016.

TAKAKURA, C. Y., ALMEIDA-MURADIAN, L. B., SALATINO, A., SANCHO, M. T. (2017). Prebiotic activity of different types of honey in in vitro fermentation with human fecal microbiota. **Anaerobe**, 47, 145-152.

VALDÉS-VARELA, L; RUAS-MADIEDO, P; GUEIMONDE, M. In vitro fermentation of different fructo-oligosaccharides by *Bifidobacterium* strains for the selection of synbiotic combinations. **International Journal Of Food Microbiology**, v. 242, p. 19-23, fev. 2017.

VIT, P.; GUTIÉRREZ, M. G.; TITĚRA, D.; BEDNÁŘ, M.; RODRÍGUEZ-MALAVER, A. J. Mielles checas categorizadas según su actividad antioxidante. **Acta Bioquímica Clínica Latino americana**, v.42, p.237–244, 2008.

WHITE, J. W. JR. HONEY. IN GROUT, R. A. The hive and the honey bee, Dadant &

Sons, Inc., Hamilton, Ill, p. 491-530. 1975.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO

Artigo submetido a revista SEMINA

FUNCIONALIDADES EM MÉIS DE ABELHA-SEM-FERRÃO DE REGIÕES DO
PARANÁ, FRENTE A SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ANTIMICROBIANA,
ANTIOXIDANTE E POTENCIAL PREBIÓTICO
FUNCTIONALITIES IN STINGLESS BEE HONEY FROM REGIONS OF PARANÁ,
REGARDING ITS CHEMICAL COMPOSITION, ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT
ACTIVITIES, AND PREBIOTIC POTENTIAL.

José Augusto de Souza¹

Karla Bigetti Guergoletto²

Wilma Aparecida Spinosa³

Highlights

- Cepas probióticas de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* exibiram crescimento distinto; suplementação com méis TB. S e BR. S resultou em resultados semelhantes os grupos controles, frutooligossacarídeo e glicose: 7,57 e 7,55 log UFC mL⁻¹.
- FT-MIR revelou múltiplas bandas indicativas de componentes no mel; deconvolução espectral identificou açúcares específicos (glicose, frutose, sacarose) pela região 1104-950 cm⁻¹.
- Os méis inibiram o cepas de *E.coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* Menor efeito inibitório foi a amostra TB. S que apresentou cerca de 6,25% de inibição em cepas de *E.coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*.

Resumo

O objetivo deste estudo consistiu em investigar a atividade antioxidante, a atividade antimicrobiana e o potencial efeito prebiótico, além de realizar a caracterização físico-química e análise dos grupos funcionais por meio da espectroscopia FT-MIR em seis variedades de mel provenientes de diversas regiões do Estado do Paraná. Essas variedades incluíram *Tetragona clavipes*, *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona bipunctata* e *Melipona quadrifasciata*, todas coletadas no ano de 2021. Análises físico-químicas foram conduzidas para avaliar parâmetros como açúcar redutor, sólidos solúveis (°BRIX), cinzas, acidez livre, pH, Hidroximetilfurfural (HMF), atividade de água (Aw) e cor, repetidas três vezes. Os dados foram submetidos à análise de variância. A análise de componentes principais (PCA) foi empregada para reduzir a dimensionalidade dos dados obtidos durante a caracterização dos açúcares por

¹ Acadêmico do curso de ciência e tecnologia em alimentos da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: joseaugusto.souza@uel.br

² Professora coorientadora: Karla Bigetti Guergoletto da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: karla@uel.br

³ Professora orientadora: Wilma Aparecida Spinosa da Universidade Estadual de Londrina. E-mail: wilma.spinosa@uel.br

FT-MIR. Para avaliar os potenciais efeitos prebióticos dos méis, foram utilizadas cepas probióticas de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium*, cultivadas em meios de cultura De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) e (MRS +Cisteína), contendo diferentes fontes de mel. Glicose e frutooligossacarídeo (FOS) como controle positivo. Os resultados revelaram que os méis de abelhas-sem-ferrão apresentaram variações nos teores de açúcar redutor, com valores variando de 59,26% a 72,76%, e 26,27 a 69,03 °Brix. As amostras também exibiram variações nos teores de cinzas, acidez livre, pH, HMF e atividade de água, com valores entre 0 e 0,2 g por 100 g, 69,39 a 205,4 mEq kg⁻¹, 3,48 a 4,70, 7,45 a 23,42 mg Kg⁻¹, e 0,72 a 0,88, respectivamente. As amostras também apresentaram uma variedade de tonalidades, indo de âmbar a âmbar escuro. As análises demonstraram que os caldos suplementados com os méis das variedades Tubuna da região de São José dos Pinhais (TB.S) e Borá da mesma região (BR.S) apresentaram resultados semelhantes em comparação com glicose e FOS, com valores de 7,57 e 7,55 log UFC mL⁻¹. A capacidade antioxidante *in vitro*, apresentaram valores de percentual de inibição (RAS) pelo método ABTS•+ variando de 54,28% a 82,29% e valores FRAP na faixa de 2669 a 3992 µmol Fe²⁺/g de mel. O teor de compostos fenólicos totais variou entre 481 a 1089 mg por 100 g⁻¹ de mel. A análise de açúcares por espectroscopia FT-MIR indicou a presença de glicose, sacarose e frutose nas amostras, com características espectrais identificadas nas faixas de números de onda entre 1104 e 950 cm⁻¹. A análise antimicrobiana evidenciou sensibilidade das cepas patogênicas testadas, com valores de Concentração Mínima Inibitória (CMI) variando de 6,25% a 70% da concentração dos méis. Em conclusão, este estudo destacou que os méis de abelhas-sem-ferrão exibiram efeitos estimulantes no crescimento das cepas probióticas avaliadas, com resultados favoráveis comparáveis às fontes tradicionais de prebióticos, como FOS e glicose.

Palavras-chave: abelhas-sem-ferrão, atividade antioxidante, efeito prebiótico, análise de açúcares, espectroscopia FT-MIR, atividade antimicrobiana.

Abstract

The objective of this study was to investigate the antioxidant activity, antimicrobial activity, and potential prebiotic effects, as well as to perform the physicochemical characterization and functional group analysis using FT-MIR spectroscopy on six varieties of honey from different regions in the State of Paraná. These varieties included *Tetragona clavipes*, *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona bipunctata*, and *Melipona quadrifasciata*, all collected in the year 2021. Physicochemical analyses were conducted to assess parameters such as reducing sugar, soluble solids (°BRIX), ash content, free acidity, pH, Hydroxymethylfurfural (HMF), water activity (Aw), and color, with each analysis repeated three times. The data were subjected to analysis of variance, and potential correlations between the physicochemical parameters and antioxidant properties were investigated using Pearson's correlation coefficient (r), with a significance level of (p < 0.05). Principal Component Analysis (PCA) was employed to reduce the dimensionality of the data collected during the characterization of sugars by FT-MIR. To evaluate the potential prebiotic effects of the honeys, probiotic strains of *Lactobacillus*

acidophilus and Bifidobacterium were used, cultured in De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) and De Man, Rogosa and Sharpe (MRS + Cysteine) media containing different sources of honey. Glucose and fructooligosaccharide (FOS) were used as positive controls. The results revealed that stingless bee honeys exhibited variations in reducing sugar content, with values ranging from 59.26% to 72.76%, and soluble solids within the range of 26.27 to 69.03 °Brix. The samples also displayed variations in ash content, free acidity, pH, HMF, and water activity, with values between 0 and 0.2 g per 100 g, 69.39 to 205.4 mEq kg⁻¹, 3.48 to 4.70, 7.45 to 23.42 mg per Kg⁻¹, and 0.72 to 0.88, respectively. The samples also exhibited a range of colors, from amber to dark amber. The analyses demonstrated that broths supplemented with honey from the Tubuna variety in the São José dos Pinhais region (TB.S) and Borá in the same region (BR.S) showed similar results compared to glucose and FOS, with values of 7.57 and 7.55 log CFU mL⁻¹. Regarding in vitro antioxidant activity, the results showed inhibition percentages (RAS) using the ABTS•+ method ranging from 54.28% to 82.29%, and FRAP values in the range of 2669 to 3992 µmol Fe2+/g of honey. The total phenolic compound content ranged from 481 to 1089 mg per 100 g of honey. Analysis of sugars using FT-MIR spectroscopy indicated the presence of glucose, sucrose, and fructose in the samples, with spectral features identified in the wavenumber range of 1104 to 950 cm⁻¹. Antimicrobial analysis revealed sensitivity of the tested pathogenic strains, with Minimum Inhibitory Concentration (MIC) values ranging from 6.25% to 70% of honey concentration. In conclusion, this study highlighted that stingless bee honeys exhibited stimulatory effects on the growth of evaluated probiotic strains, with favorable results comparable to traditional sources of prebiotics such as FOS and glucose. Positive and negative correlations were observed between certain physicochemical parameters, such as reducing sugar and color, moisture and water activity, acidity and reducing sugar, and pH and °BRIX. However, no significant correlations were found between physicochemical parameters and antioxidant activity in the samples, nor between total phenolic content and antioxidant activity.

Keywords: Stingless bees, antioxidant activity, prebiotic effect, sugar analysis, FT-MIR spectroscopy, antimicrobial activity.

Introdução

Estima-se que cerca de 75% da produção mundial de alimentos depende da polinização realizada por abelhas e outros insetos polinizadores (IPBES, 2016). Sendo que a presença desde durante o processo de plantio consegue impactar positivamente na qualidade dos frutos e sementes produzidas (GARIBALDI et al., 2013).

As abelhas, assim como outros polinizadores são fundamentais para a manutenção da biodiversidade e da saúde dos ecossistemas, promovendo serviços que beneficiam a fauna e a flora

terrestre (IPBES, 2016).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) enfatiza a importância da polinização para a segurança alimentar global e para a conservação da biodiversidade também destaca que a polinização é um serviço ecossistêmico ameaçado por fatores como a destruição do habitat natural, o uso de agrotóxicos e o impacto das mudanças climáticas. Assim, a organização recomenda a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que promovam a diversidade vegetal e a preservação dos polinizadores, destacando a necessidade da conscientização pública sobre a importância da polinização para a segurança alimentar e a conservação da biodiversidade (FAO, 2014). O Brasil se destaca na produção de abelhas-sem-ferrão devido à grande variedade de espécies encontradas em quase todas as regiões do país, como *Melipona subnitida* Duke, *Melipona scutellaris* Latrelle, *Melipona bicolor*, *Melipona quadrifasciata* Lep, *M. marginate*, *Melipona mondury*, *Melipona rufiventris*, *M. asilvai*, *Melipona quadrifasciata anthidioides* e *Melipona compressipes*. Algumas espécies de *Trigone*, como *Scaptotrigona bibpunctata*, *Tetragonisca angustula* e *Tetragona clavipes* (Biluca et al., 2018; Oliveira et al., 2017; Ávila et al., 2018; Bezerra et al., 2018; Ávila et al., 2019; De Melo et al., 2020).

O mel das abelhas nativas sem ferrão é um produto de valor nutricional e funcional único, com características sensoriais, físico-químicas e microbiológicas diferentes do mel de abelha *Apis mellifera* (Sousa, Souza, et al., 2016). Estudos têm demonstrado que os méis de abelha-sem-ferrão possuem compostos bioativos como flavonoides, compostos fenólicos, enzimas e outras substâncias que conferem atividades biológicas capazes de promover a saúde humana (Sousa, Souza, et al., 2016; Biluca et al., 2017; Oliveira et al., 2017; Ávila et al., 2018). Além disso, os méis de abelha-sem-ferrão apresentam atividades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatórias e cicatrizantes (Ávila et al., 2019) Essas propriedades estão relacionadas com a composição química do mel, que pode variar dependendo da espécie de abelha, da floração das plantas e do ambiente em que são produzidos (Biluca et al., 2017). Ainda, outros estudos demonstraram os efeitos prebióticos *in vitro* de méis produzidos por *Apis mellifera* de flores de trevo nos EUA (Ustunol et al., 2001) bem como em méis monoflorais produzido por abelhas-sem-ferrão no semiárido do Nordeste brasileiro (Melo et al., 2020). Os méis de abelha-sem-ferrão também apresentam potencial prebiótico, promovendo o crescimento de bactérias benéficas no intestino, como *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*. Isso se deve à presença de oligossacarídeos, que são carboidratos não digeríveis que servem de alimento para as bactérias probióticas (Ávila et al., 2019; Silva et al., 2020).

Quanto ao potencial antioxidante, os méis de abelha-sem-ferrão possuem alta atividade antioxidante, devido à presença de compostos fenólicos como ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido gálico, quercetina, rutina e naringenina. Esses compostos têm a capacidade de neutralizar os radicais livres, protegendo as células contra o estresse oxidativo (Oliveira et al., 2017; Biluca et al., 2017).

No que diz respeito à atividade antimicrobiana, os méis de abelha-sem-ferrão também apresentam a capacidade de inibir o crescimento de diversas bactérias patogênicas, incluindo *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella*. Essa atividade antimicrobiana é atribuída à

presença de compostos como o ácido fenólico, peróxido de hidrogênio e glicose oxidase (Sousa, Souza, et al., 2016; Oliveira et al., 2017).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi determinar as características físico-químicas de méis produzidos por *Tetragonisca angustula* (Jataí), *Tetragona clavipes* (Borá), *Scaptotrigona bipunctata* (Tubuna), *Melipona quadrifasciata* (Mandaçaia) do Estado do Paraná, Brasil, bem como avaliar o potencial prebiótico, atividades antioxidantes, antimicrobianas e identificação de açúcares por FT-MIR, com o objetivo de verificar a presença de grupamentos funcionais presentes nesses méis.

Materiais e métodos

Amostras de mel de abelha-sem-ferrão

O total de seis amostras de mel de abelha-sem-ferrão avaliadas neste estudo foram coletadas no ano de 2021 em diferentes regiões no Estado do Paraná. A Tabela 1 apresenta locais de coleta, espécie, denominação popular e o código adotado no trabalho. Este trabalho faz parte das atividades desenvolvidas pelo grupo de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), denominado Fermentados, da Universidade Estadual de Londrina. As amostras foram mantidas à temperatura de -18° C desde a coleta até a execução das análises.

Análises dos parâmetros físico-químicos

Devido ao fato de não existir ainda uma legislação para méis produzidos por meliponíneos, as análises físico-químicas foram realizadas com base no que é preconizado para méis de abelha *Apis mellifera* (BRASIL, 2000). Estas foram realizadas em triplicata, no Laboratório de Análise de Alimentos e no Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual de Londrina.

Para a determinação de açúcar redutor, a metodologia adotada foi a partir de Lane-Eyon, com a utilização do reagente de Fehling (Ial, 2008) e os valores de açúcar redutor foram expressos em glicídios redutores em glicose (%). Para determinar os sólidos solúveis, foi utilizado o método 932.12 da *Association of Official Agricultural Chemists* (2012), e os valores foram expressos em °Brix. Para determinação do teor de minerais totais, o método gravimétrico foi desenvolvido de acordo com os parâmetros dessa instituição e o teor de cinzas foi medido de acordo com a técnica proposta por Ial, (2008). Os resultados foram expressos em g 100g⁻¹. Para determinar o pH e acidez total das amostras, utilizou-se a metodologia preconizada na AOAC (2012). A acidez do mel foi determinada pela soma da acidez livre com a acidez lactônica, e os valores foram expressos em mEq kg⁻¹ de mel. O teor de hidroximetilfurfural (HMF), de acordo com o método proposto no *Harmonised Methods of the International Honey Commission* (2002) tiveram os resultados expressos em mg kg⁻¹ de mel. A cor teve

os valores expressos em absorbância e a denominação pela escala Pfund (AOAC 2012).

Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante

Compostos fenólicos totais

A metodologia descrita foi aplicada por Singleton para o conteúdo de compostos fenólicos totais (Rossi, 1965). Aliquotas de 100 μ L de uma solução aquosa de mel 0,2 g mL foram homogeneizadas com 2 mL de água deionizada e 0,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu foi transferida para balão volumétrico de 10 mL. Posteriormente, foram adicionados 1,5 mL de solução de carbonato de sódio 20% (m/v), mantidas por 2 horas em abrigo da luz e lidas em absorbância a 764 nm. O conteúdo de compostos fenólicos totais foi calculado como equivalente de ácido gálico por comparação com curva padrão construída usando ácido gálico. O resultado foi expresso em mg 100 g⁻¹ de mel.

FRAP - capacidade de redução férrica

O procedimento usado foi descrito por Benzie e Strain (1996). O reagente de FRAP foi preparado no momento da análise e consistiu em uma mistura de uma parte de 2,4,6-Tris (2-piridil) -s-triazin (TPTZ) 10 mmol L⁻¹ em HCl 40 mmol L⁻¹, uma parte de FeCl₃ 20 mmol L⁻¹ e dez partes de tampão acetato de sódio 0,3 mmol L⁻¹, pH 3,6. Aliquotas de 200 μ L da solução de mel foram misturadas com 1,8 mL do reagente de FRAP e deixadas por 10 minutos em banho-maria a 37° C. Em seguida, a absorbância foi medida a 593 nm. Uma solução aquosa de FeSO₄ · 7 H₂O (100 – 1000 μ mol L⁻¹) foi usada na preparação de uma curva padrão, e os resultados expressos em μ mol Fe²⁺/g de mel.

Sequestro do radical ABTS•+

A capacidade antioxidante frente ao radical Ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS), foi medido de acordo com Re et., al (1999) com modificações. O radical catiônico ABTS⁺ foi sintetizado pela reação de uma solução de ABTS 7 mM com uma solução de persulfato de potássio 2,45 mM. A mistura foi mantida no escuro por 16 horas em temperatura ambiente. A solução de ABTS⁺ foi então diluída com água destilada até atingir a absorbância de 0,7 a 734 nm. Aliquotas de 2,0 mL da solução ABTS⁺ foram aplicadas às soluções amostrais diluídas em metanol após o preparo para atingir concentrações finais entre 0 e 100 mg mL⁻¹. Após 10 min, o percentual de inibição foi calculado para cada concentração a 734 nm e o ABTS⁺ potencial de eliminação de radicais (RAS) foi determinado usando a seguinte equação:

Equação 1- Eliminação de radicais ABTS

Atividade de eliminação de radicais ABTS (%)

$$= \frac{\text{absorbância controle} - \text{absorbância amostra}}{\text{absorbância controle}} \cdot 100 \quad (1)$$

Caracterização de açúcares dos méis por FT-MIR

A caracterização química dos méis FT-MIR foi determinada partindo de adaptações dos métodos propostos por Mascareli et al., (2022). Foi utilizado o espectrômetro FT-IR Shimadzu IRPrestige-21, equipado com um módulo IRIS de refletância total atenuada (ATR) com uma placa de cristal de diamante (PIKE Technologies). Para determinar os espectros e as amostras, não precisaram de tratamento prévio. As medições foram realizadas em triplicata, utilizando 10 µL de cada amostra, colocados em contato direto com a área do acessório ATR. Os parâmetros de aquisição de espectros variaram de 4000 a 500 cm⁻¹, com 64 varreduras e uma resolução de 8 cm⁻¹. Antes de cada nova amostra, os cristais foram limpos com água ultrapura. Os espectros foram previamente processados no software IRsolutions (versão 1.04), com a supressão da banda do sinal analítico de CO₂. Em seguida, os dados foram exportados para formato ASCII, e as médias das triplicatas foram obtidas.

Avaliação da atividade antimicrobiana

A Concentração Mínima Inibitória (CMI) das amostras de mel foi determinada de acordo com os métodos Clinical & Laboratory Standards Institute (CLSI), seguindo as orientações A07-A10 (Helyar et al., 2010). As cepas utilizadas para avaliação do efeito inibitório foram *Salmonella ATCC 13076*, *E. coli ATCC 25922* e *Stafilococcus aureus ATCC 25023*.

O teste de CMI foi realizado em placas de 96 poços de poliestireno, com concentrações que variaram de 70 a 6,12% de concentração de mel. As cepas bacterianas foram cultivadas a 37°C por 18 horas em caldo de soja triptona. Em seguida, foi feita uma escala de McFarland 0,5 de cada microrganismo, e 10 µL de cada diluição bacteriana foi adicionado a 100 µL de cada concentração de mel. As placas foram incubadas a 37° C por 24 horas, onde foi verificado se havia turvação das amostras contendo os microrganismos patógenos. A CMI foi considerada a menor diluição de mel em que o crescimento microbiano foi completamente inibido, e os resultados foram expressos como porcentagem da concentração de mel que inibiu o crescimento total das bactérias.

Avaliação do potencial efeito prebiótico do mel

Cepas bacterianas e preparo do inóculo

Para preparo da cultura dos microrganismos, utilizou-se a metodologia aplicada por Melo et. al (2019) com modificações. Foram utilizadas as cepas liofilizadas de *Lactobacillus acidophilus* LA-05 e *Bifidobacterium* BB-12. Essas cepas foram cultivadas de acordo com as condições dos microrganismos LA-05, em caldo de Man Rogosa e Sharpe (MRS) a 37° C por 24 horas, e para a cultura de BB-12, caldo MRSC suplementando com cisteína (0,1%) a 37° C por 48 h sob anaerobiose.

Para preparo do inóculo, as células foram colhidas por centrifugação ($4500 \times g$, 15 min, 4°C), lavadas duas vezes com solução salina estéril (NaCl 0,85 g 100mL⁻¹), ressuspensas no mesmo diluente e homogeneizadas por 30 s usando um vórtice, em seguida foram lidas em densidade óptica (OD) a 660 nm.

Crescimento bacteriano nas amostras de méis

A taxa de crescimento dos prebióticos LA-5 e BB-12 nas amostras de mel foi medida espectrofotometricamente a 660 nm em intervalo de 12 h, usando caldo MRS suplementando com FOS e glicose como controle. Para o método de contagem em placas, as culturas experimentais e de controle foram diluídas em água destilada 0,1% e plaqueadas em meio de ágar MRS. O efeito dos méis em LA-05 e BB-12 foi determinado comparando o número de log UFC mL⁻¹ a presença do mel com aqueles obtidos nos controles.

Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os dados foram expressos com os valores das médias $\pm$ desvio padrão. As diferenças estatísticas dos méis foram analisadas por ANOVA pelo software STATISTICA®, seguidos do teste de Tukey com nível de significância de $p < 0,05$. Ademais, possíveis correlações entre os parâmetros físico-químicos e propriedades antioxidantes foram investigadas por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), com nível de significância de $p < 0,05$. Dessa forma, foi utilizado a análise de componentes principais (PCA) para reduzir a dimensionalidade dos dados coletados durante as análises de açúcares por FT-MIR.

Resultados e discussões

Análise dos parâmetros físico-químicos

Os resultados obtidos para a caracterização das amostras de méis de abelhas-sem-ferrão estão detalhadamente apresentados na Tabela 2. Observou-se uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre as

médias dos parâmetros analisados. O teor de açúcar redutor exerce um papel crucial na avaliação da qualidade do mel, uma vez que pode ser alvo de adulterações através da adição de açúcar comercial. Nas amostras analisadas, a média do teor de açúcar redutor variou de 59,26 a 72,76 %. Cabe destacar que a quantidade de açúcares redutores no mel proveniente de *Apis mellifera* deve exceder o patamar mínimo de 65% (BRASIL, 2000). Nossos resultados revelam que apenas as amostras TB. S e MC. P apresentaram valores inferiores a essa norma e esses resultados denota que os méis foram coletados antes do processo de maturação. Em investigação conduzida por Nascimento et al. (2015) na cidade de Guaraqueçaba, Paraná, os teores de açúcar redutor foram entre 66,32% e 75,21%. Similarmente, Oliveira et al. (2015) constataram, em amostras de mel de abelhas-sem-ferrão de Paranavaí, teores de açúcar redutor variando entre 50% e 60%. No que se refere aos sólidos solúveis, os valores identificados nas amostras variaram entre 26,27 e 69,03 °Bx. O teor de Brix é indicativo de doçura do mel, pode variar dependendo da floração e das condições climática, Em geral, o mel tende a ter um teor de Brix na faixa de 70 a 80 °Bx, o que indica um alto teor de açúcares. Verificou-se que todas as amostras exibiram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre si. Biluca et al. (2016) encontraram valores distintos em sua análise de trinta e duas amostras de méis de meliponíneos de Florianópolis, Santa Catarina, no período de 2013 a 2015, identificando um valor de 55,2 °Bx para a espécie *Scaptotrigona bipunctata*. Os sólidos solúveis, ao serem considerados, oferecem insights sobre os níveis de açúcares, ácidos orgânicos e minerais. Em méis produzidos por *Apis mellifera*, os valores de °Bx são tendencialmente mais elevados (Meireles e Cançado, 2013).

No que se refere ao teor de cinzas, as amostras exibiram valores que variaram entre 0,00 g 100g⁻¹ de mel JT.S e 0,02 g 100g⁻¹ de mel BR.S. Esses resultados se assemelham aos resultados obtidos por Souza et al. (2009) que, ao investigar trinta e três méis de abelhas-sem-ferrão no Nordeste brasileiro, encontrou valores de cinzas entre 0,01g a 0,33g 100g⁻¹ de mel, especificamente para a espécie *Melipona quadrifasciata*. Nascimento et al. (2015) e Ávila et al. (2016) apresentaram valores com teores de minerais variando entre 0,16g a 0,48g 100g⁻¹ de mel, respectivamente, para o mel da espécie *Melipona quadrifasciata*. De acordo com a legislação brasileira, os méis de *Apis mellifera* podem conter entre 0,1g 100g⁻¹ e 100g de minerais. O teor de cinzas no mel pode sofrer influência da origem floral, das condições ambientais e da higiene durante o processamento (Brasil, 2000). No que concerne ao pH e à acidez, todas as amostras examinadas exibiram características típicas dos méis de abelhas-sem-ferrão, com caráter ácido e valores de pH variando de 3,48 a 4,70. Valores semelhantes foram registrados em méis de abelhas-sem-ferrão da região de Curitiba, Paraná, e da cidade de Guaraqueçaba, onde os valores de pH oscilaram entre 3,50 e 4,08.

Nesse viés, Pires et al. (2020), ao avaliar treze espécies de méis de abelhas-sem-ferrão da Amazônia, constataram variações significativas nos valores de pH, variando entre 3,59 e 6,68, provavelmente decorrentes da influência da origem floral dos méis. Nesse contexto, Biluca et al. (2016) discorrem sobre como a origem floral impacta nos parâmetros físico-químicos dos méis de abelhas-sem-ferrão, destacando também a influência do néctar, das variações na composição do solo, do tipo de

vegetação e da espécie. Quanto à acidez total, as amostras analisadas exibiram valores entre 69,39 mEq kg⁻¹ JT. S e 205,49 mEq kg⁻¹ MC. P. A acidez total apresentou ampla variação em todas as amostras, mesmo quando comparadas dentro de uma mesma espécie. Costa dos Santos et al. (2022), ao investigar os méis produzidos por quatro espécies de abelhas-sem-ferrão em Santa Catarina, identificaram resultados similares, com acidez total superando 100 mEq kg⁻¹. Segundo o autor, esse teor elevado de acidez é influenciado pela presença de ácidos orgânicos alifáticos nos méis, sendo que as amostras da espécie *Scaptotrigona bipunctata* apresentaram acidez mais acentuada, devido à presença de ácido acético e ácido glucônico. Em trabalhos anteriores, verificaram-se diferentes valores para a acidez total, como os 34,33 mEq kg⁻¹ para méis da espécie *Cephalotrigona capitata* em Guaraqueçaba, Paraná (Souza et al., 2009). Os teores de HMF nas amostras analisadas estiveram em conformidade com as diretrizes estabelecidas (BRASIL, 2000). O teor de HMF nas amostras variaram de 7,45 mg kg⁻¹ a 23,42 mg kg⁻¹. Em pesquisas conduzidas por Santos et al. (2019) e Lima et al. (2020), amostras de méis de abelhas-sem-ferrão coletadas em diferentes regiões do Brasil foram avaliadas em relação aos níveis de Hidroximetilfurfural (HMF). Esses estudos revelaram variações nos níveis de HMF entre as espécies de abelhas-sem-ferrão e as regiões de coleta. Santos et al. (2019) constataram níveis de HMF entre 0,08 e 14,81 mg kg⁻¹, com níveis mais elevados observados durante a estação chuvosa, sugerindo a influência de fatores sazonais e geográficos. Em relação à atividade de água (Aw), as amostras analisadas exibiram diferenças significativas entre JT. S e BR. S, variando de 0,727 a 0,888. Ávila et al. (2018), ao investigar sete amostras de méis de *Scaptotrigona bipunctata* em Mandirituba, Paraná, obtiveram resultados distintos, com valores de Aw variando de 0,77 a 0,87. Ademais, valores similares foram relatados por Santos et al. (2022), que analisaram doze amostras de méis de abelhas-sem-ferrão em Santa Catarina, apresentando valores de Aw entre 0,75 e 0,84. A coloração das amostras dos méis variou de 0,410 a 1,110 nm, representando uma tonalidade de âmbar extra claro a âmbar claro. Freitas et al. (2022) obtiveram resultados diferentes, identificando em quinze amostras de mel de abelhas-sem-ferrão do Pará uma variação de coloração de âmbar a âmbar escuro. Das et al., 2015).

Compostos Fenólicos Totais e capacidade antioxidante

Os valores encontrados para o conteúdo de compostos fenólicos totais e para a capacidade antioxidante das amostras de méis podem ser observados na Tabela 2. A capacidade redutora de *Folin-Ciocalteu* dos méis de abelha-sem-ferrão variou de 481 e 1089 mg 100 g⁻¹ sendo que foi observada diferença significativa entre as amostras JT.C; JT. S e TB. S, 732, 887 e 481 mg 100 g⁻¹, respectivamente.

Os compostos fenólicos são derivados das plantas, e por isso o conteúdo fenólico presente no mel é afetado pela fonte do néctar escolhido pelas abelhas e pelas espécies. Valores semelhantes ao nosso estudo foram encontrados por Biluca et al., (2020) em oito amostras de mel de abelha-sem-ferrão no Estado de Santa Catarina. Os teores de fenólico variaram entre 10,4 e 57,4 mg 100 g⁻¹. Silva et al (2016) encontrou valores semelhantes ao estudo e, dessa maneira, o teor dos compostos fenólicos totais

variaram de 103 a 980 mg 100 g⁻¹ (Biluca et al., 2016). Lopes, Dias e Moreira (2019), determinaram atividade antioxidante em oito amostras no Estado do Paraná e o estudo apontou que o teor dos compostos fenólicos foi diferente ao encontrado em nosso estudo, em que os valores variaram entre 23,05 e 79,35 mg 100 g⁻¹ para mel da espécie de Jataí (*Tetragonisca angustula*). Essa variação pode estar relacionada com o período de coleta de mel e a fonte floral (NASCIMENTO et al, 2015).

O ensaio de potência Antioxidante Redutora Férrica (FRAP) mede a capacidade de converter o íon férrico em ferroso e as amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si, variando entre 2669 e 3992 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ de mel. Valores diferentes foram encontrados por Biluca et al., (2016), em que os valores de FRAP variaram de 61,1 a 624 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ de mel. Shamsudin et al., (2019), avaliaram a origem botânica e a espécie da abelha dos méis produzidos por abelha na Malásia e verificaram que as propriedades antioxidantes desses méis são influenciadas por esses parâmetros.

Os resultados para a análise de antioxidante por ABTS^{•+} apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$), os valores do potencial de redução (RAS) variaram de 54,28 a 82,29 % JT.S e BR.S, respectivamente. Os resultados foram semelhantes ao relatados por Lavinhas et al., (2023), no qual a capacidade de inibição em méis de abelha-sem-ferrão de diferentes regiões do cerrado e mata atlântica variaram de 37,84% a 54,95%. Majid et al., (2020), ao estudar os méis de abelha-sem-ferrão na Malásia exibiram valores de eliminação de ABTS^{•+} variando entre 18,77% e 65,02%. Esses valores são semelhantes aos obtidos no presente estudo. Poucos estudos demonstraram a capacidade de eliminação de radicais usando ABTS^{•+}.

Caracterização dos açúcares dos méis por FT-MIR

A análise da composição química do mel por meio do espectro FT-MIR é uma ferramenta altamente eficaz. Diversas bandas são identificadas no espectro, cada uma delas associada a diferentes grupos funcionais e componentes presentes no mel na Tabela 3 e na Figura 1 que apresentam as principais bandas no espectro das amostras de mel. A absorção em 3275 cm⁻¹ no espectro infravermelho do mel está ligada às vibrações das ligações de hidrogênio em grupos -OH (hidroxilas) e N-H (aminas), comuns em compostos contendo álcoois e aminas. No mel, essa banda indica a presença de hidroxilas em açúcares como glicose e frutose, bem como na água. A banda em torno de 2889 cm⁻¹ está associada às vibrações de grupos C-H em ligações alquil, como as ligações CH₂ (metileno). Essas vibrações são características de grupos alifáticos presentes principalmente em ácidos orgânicos. Outro pico significativo aparece em 1524 cm⁻¹, correspondente à vibração de estiramento da ligação C-C no anel furanose dos carboidratos presentes no mel. Esses carboidratos consistem em monossacarídeos, como glicose e frutose, bem como outros açúcares, como sacarose e maltose. Em 1416 cm⁻¹ e 1354 cm⁻¹, encontramos bandas relacionadas à vibração de estiramento C-H em grupos CH₃ e CH₂ de açúcares presentes em diferentes carboidratos no mel, incluindo glicose e frutose. Esses picos indicam a quantidade desses açúcares presentes no mel.

O sinal em 1250 cm^{-1} pode estar relacionado a várias vibrações de estiramento da ligação N-H em compostos que contêm o grupo amida III em aminoácidos. O sinal em 1146 cm^{-1} está associado ao estiramento C-O-C em anéis de açúcares como a frutose.

A frequência em 1022 cm^{-1} apresenta um pico associado ao estiramento C-O em grupos alcoólicos (OH) presentes nos açúcares do mel. As bandas em frequências menores, como 910 , 864 e 817 cm^{-1} estão relacionadas à vibração de flexão C-H em grupos CH_3 e CH_2 presentes nos carboidratos do mel (Anjos et al., 2015; Gok et al., 2015; Kasprzyk et al., (2018). Com o objetivo de determinar as características específicas presentes nos méis, foi utilizado o método de deconvolução espectral (figura 2), que tem como objetivo separar as contribuições individuais de diferentes componentes do espectro complexo. A deconvolução permitiu discernir os picos característicos associados aos açúcares específicos. A região de 1104 a 950 cm^{-1} é particularmente interessante para a análise dos açúcares, uma vez que nesse intervalo podem ser encontradas informações sobre as vibrações moleculares das ligações C-O e C-C em grupos funcionais presentes nos carboidratos. Isso permitiu identificar com maior precisão a presença e proporção de açúcares como glicose, frutose e sacarose, fornecendo percepções valiosas sobre a composição química do mel (Siddiqui, 1970, Anjos et al., 2015, Kamal, Klein, 2011).

Além disso, a figura 3 apresenta o gráfico de Scores da PCA realizado nas amostras, visto que a análise de PCA é uma técnica estatística que visa reduzir a dimensionalidade dos dados, buscando extrair as principais informações a partir das variáveis originais (Andrade et al., 2022). Nesse contexto, o primeiro componente principal (PC1) foi responsável por capturar 50,74% da variação total dos dados, enquanto o segundo componente principal (PC2) contribuiu com 27,27% dessa variabilidade. Essas porcentagens refletem a capacidade dos dois componentes representar o comportamento das amostras. Ao observar as posições relativas das amostras no gráfico de dispersão, podemos identificar grupos distintos. As amostras JT.C, TB.S e MC.P mostraram similaridades marcantes, com um peso significativo na direção da PC1. Isso sugere que essas amostras compartilham características espectrais semelhantes, resultando em agrupamento nesse espaço multidimensional. Por outro lado, a amostra BR.C se destacou por sua posição diferenciada no gráfico, indicando diferenças significativas em relação às outras amostras. A contribuição negativa da amostra BR.C na PC2 é notável, sugerindo que essa amostra possui características espectrais distintas em comparação com o grupo formado por JT.C, TB.S e MC.P. Vale destacar ainda que a amostra JT.C apresentou uma correlação inversa com o primeiro grupo de amostras (JT.C, TB.S e MC.P), manifestando-se por meio de um peso negativo na PC1. Isso evidencia que a amostra JT.C se relaciona negativamente ao primeiro grupo.

Uma relação importante pode ser estabelecida entre o gráfico dos Scores de PCA e os Loadings, na figura 4, que mostram quais regiões espectrais influenciaram as amostras de mel a exibirem o comportamento natural observado. A análise dos Loadings nos fornece uma explicação detalhada sobre quais componentes espectrais estão associadas ao comportamento observado. No gráfico de loadings da PCA, observamos que na PC1 a região espectral mais proeminente foi em torno de 1022 cm^{-1} . Isso significa que essa região, relacionada a presença de açúcares, exerceu uma influência significativa sobre

as diferenças observadas entre as amostras. Essa descoberta é consistente com o comportamento das amostras no gráfico de scores da PCA, em que o primeiro grupo (JT.C, TB.S e MC.P) se agrupou de forma coesa e apresentou peso positivo na PC1. Isso significa que essas amostras possuem concentrações maiores desses açúcares. Na PC2, a região espectral que mais se destacou foi na faixa de 2500 a 3500cm⁻¹. Essa observação se alinha com o comportamento das amostras com maior peso na PC2 no gráfico de scores. O mel da espécie BR.C se afastaram do primeiro grupo ao longo da direção da PC2, indicando características espectrais distintas nessa região. A influência da região de 2500 a 3500 cm⁻¹ relacionada principalmente com a presença de água e ácidos orgânicos é consistente com esse afastamento observado no gráfico de scores, evidenciando que essa faixa espectral tem um papel crucial na diferenciação dessas amostras.

Atividade Antimicrobiana

Os resultados da atividade antimicrobiana dos méis estão descritos na Tabela 4. É possível observar que os três microrganismos avaliados foram sensíveis as seis amostras estudadas, o mel da espécie de *S. bipunctata* (TB.S) inibiu o crescimento das cepas em menor concentração 6,25%

A partir dos resultados obtidos pode-se inferir que a ação antimicrobiana não decorre somente da espécie de abelha sem ferrão produtora do mel, uma vez que diferentes amostras elaboradas pelo mesmo meliponíneo demonstraram comportamento diferenciado em relação ao efeito analisado. Nesse sentido, a composição química particular de cada amostra, bem como os diferentes aspectos que a influenciam, podem ter desempenhado papel decisivo na atividade biológica. Conforme a literatura (WESTON, 2000), a variação na ação antimicrobiana se deve a muitos fatores que afetam a composição química dos méis, incluindo diferenças no solo e nas condições atmosféricas, além das diversas espécies vegetais que contribuem para a formação desses produtos.

Nesse viés, Mercês et al., (2013), avaliou a atividade antimicrobiana de diferentes méis de abelha-sem-ferrão *Melipona asilvai*, *Melipona quadrifasciata anthidioides*, *Friseomelita doederleinei*, *Tetragonisca angustula* e *plebeia* e verificou que houve inibição nos patógenos para *S. aureus* e *E. coli*.

Resultados similares foram observados por Batiston et al., (2020), em que méis da espécie *T. Clavipes*, *M. quadrifasciata* apresentaram a mesma porcentagem de inibição, cerca de 25%, para os méis estudados. Já para os méis de *S. bipunctata*, os nossos resultados diferem, pois aconteceu a menor inibição em uma concentração de 6,25%. Resultados controversos foram apresentados por Borsato et al., (2013) em que os méis da espécie *S. bipunctata* apresentou inibição de 3,12%.

Ávila et, al (2019) avaliaram atividade antimicrobiana em trinta e duas amostras de mel do Estado do Paraná de quatro espécies de abelhas nativas sem ferrão, contra seis espécies de bacterianas diferentes três Gram-negativas (*Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Salmonella Typhimurium*), três Gram-positivos (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*) e um fungo (*Candida albicans*). Diante disso, foi verificado que os méis inibiram todos os microrganismos, sendo

mais eficaz com as bactérias Gram-negativas em comparação com as Gram-positivas. Ainda, os autores relatam que as propriedades antimicrobianas estão correlacionadas com o teor de polifenóis e o baixo pH.

Efeito do mel de abelha no crescimento de probiótico

Neste estudo, realizou-se uma comparação dos efeitos do (FOS), glicose e seis amostras de mel de abelha-sem-ferrão para avaliar o potencial probiótico das cepas *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium*. Os resultados das alterações nas populações bacterianas das cepas estão nas Tabelas 5 e 6.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a cepa de *Bifidobacterium* durante o tratamento e verificou-se variações significativas no total de bactérias nos caldos adicionados de mel. No tempo inicial, os caldos suplementados com os diferentes méis BR.S, JT.C, TB.S, MC.P, FOS e glicose não apresentaram diferença estatística. O que sugere uma padronização na adição do inóculo para um melhor resultado após a fermentação.

Durante o período de incubação de 12 h, observaram-se diferenças estatísticas entre os grupos. Destacou-se o caldo suplementado com mel de JT.S, que apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao grupo controle de glicose. No entanto, durante o cultivo de 24 horas, não houve diferença estatística entre os grupos. No tempo 36 h, o caldo suplementado com mel de TB.S apresentou diferença estatística em relação ao grupo controle FOS e obteve $7,55 \log \text{ UFC mL}^{-1}$, elevado em relação aos demais grupos. No período final do tratamento, foi observado que os grupos TB.S e BR.S apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) $7,57$ e $7,55 \log \text{ UFC mL}^{-1}$ respectivamente se comparados aos grupos suplementados com mel de JT.C, BR.C, MC.P, JT.S, FOS e glicose.

A tabela 6 apresenta os valores de $\log \text{ UFC mL}^{-1}$ obtidos durante o tratamento para a cepa de *Lactobacillus acidophilus*. Os grupos não apresentaram diferenças significativas nos tempos de tratamento 0 e 12 h. Durante o tempo de 24 h, foi observado que os meios suplementados com o mel de JT.C, MC.P e glicose não apresentaram diferença significativa em relação aos demais grupos. Durante o tratamento de 36 h, o caldo suplementado de glicose apresentou maior $\log 7,75$. No final das análises, foi observada diferença estatística entre o caldo suplementado com mel de TB.S, $\log 7,62$, na cepa de *Lactobacillus acidophilus* embora não tenha atingido os níveis observados para FOS e glicose, que foram $\log \text{ UFC mL}^{-1}$.

Os resultados mostraram que tanto *Lactobacillus acidophilus* quanto *Bifidobacterium* apresentaram comportamento de crescimento diferentes em caldos com diversas fontes de carbono testadas (glicose, FOS, BR. S, BR.C, JT. S, JT.C, TB. S, MC.P). Mas o caldo suplementado com os méis de TB.S e BR.S, obtiveram maiores valores de $\log \text{ UFC mL}^{-1}$ para a cepa de *Bifidobacterium* no final de 48 h de tratamento.

Os oligossacarídeos trealose, cellobiose, laminaribiose, maltose, turanose presentes em méis de

Apis mellifera apresentam potencial atividade prebiótica para cepas de *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*, com aproximadamente 8,56 e 8,43 log UFC mL⁻¹, respectivamente. O aumento de cepas de *Lactobacillus acidophilus* (MTCC 447) e *Bifidobacterium* (ATCC 700541) foi avaliado em sete méis de gergelim e verificaram que os caldos que continham o mel como única fonte de carbono aumentaram significativamente ($p < 0,05$) a população bacteriana (Das et al., 2015, Sanz et al., 2005).

O potencial prebiótico de quatro méis monoflorais de abelha-sem-ferrão do semiárido brasileiro frente as *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* apresentaram aproximadamente 8,75 log UFC mL⁻¹ e durante o tratamento de 48 horas foi observado diminuição do pH durante o tempo de cultivo, bem como o aumento de ácidos orgânicos, como ácido lático e ácido acético, considerados principais produtos metabólicos finais da fermentação de carboidratos (Melo et al., 2020).

Há evidências do potencial prebiótico do mel adicionado em produtos alimentícios, como leite e iogurte. A viabilidade do mel de *Apis mellifera*, assa-peixe em cepas de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium* e verificaram que as contagens viáveis do leite suplementado com mel, obteve valores significativos para as cepas analisadas. Caldeira et al., (2018) avaliou a viabilidade de cepas de *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium*, na produção de iogurte suplementados com mel de jataí (*Tetragonisca angustula*) e mel de *Apis mellifera*. E determinaram que a adição dos méis (10%) obteve melhores resultados se comparados ao grupo de controle (sem adição de mel) e apresentaram cerca de log UFC mL⁻¹ para os iogurtes suplementados com mel de jataí e 7,84 log UFC mL⁻¹ o iogurte suplementado com mel de *Apis mellifera*, permanecendo viáveis após 35 dias de armazenamento.

Conclusão

Este estudo abrangeu a caracterização de seis amostras de mel de abelha-sem-ferrão. E os resultados mostraram que os méis demonstraram a capacidade de promover o crescimento das cepas probióticas *Bifidobacterium* e *Lactobacillus acidophilus*, em que os méis das espécies de *Tetragona clavipes* e *Tetragonisca angustula* exibiram resultados semelhantes quando comparados à glicose e ao (FOS) para a cepa probiótica de *Bifidobacterium*, sugerindo potencial como fontes de prebióticos. A atividade antimicrobiana também foi constatada, com os méis exibindo propriedades inibitórias contra cepas de *Salmonella*, *E. coli* e *Staphylococcus aureus*, evidenciando as propriedades antimicrobianas dos méis de abelhas-sem-ferrão.

Em suma, os resultados obtidos respaldam a consideração dos méis de abelhas-sem-ferrão como fontes de propriedades antioxidantes, prebióticas e antimicrobianas. Além disso, a análise dos açúcares por espectroscopia FT-MIR ofereceu achados sobre a composição dos méis, caracterizando a presença de glicose, sacarose e frutose, contribuindo para uma compreensão mais completa de sua composição química.

Em conjunto, os resultados obtidos neste estudo fortalecem a compreensão de que os méis de abelha-sem-ferrão possuem propriedades funcionais. No entanto, para melhor compreender os

mecanismos subjacentes a essas funcionalidades, são necessários estudos sobre ação dos agentes prebióticos e como eles podem contribuir para benefícios à saúde.

REFERÊNCIAS

- Andrade, J. C. De, Galvan, D., Effting, L., Lelis, C., Melquiades, F. L., & Galvan, D. (2022). An Easy - to - use and Cheap Analytical Approach Based on NIR and Chemometrics for Tomato and Sweet Pepper Authentication by Non - volatile Profile. *Food Analytical Methods*.
- Anjos, O., Campos, M. G., Ruiz, P. C., & Antunes, P. (2015). Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. *Food Chemistry*, 169, 218–223.
- Association of Official Analytical Chemists. (2012) . *Official Methods of Analysis*. 19th edition. Method 981.12 - pH; Method 942.15 - Total and Free Acidity.
- Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 19th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. Method 942.05.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 20th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Ávila, K. G., Aguiar-Oliveira, E., França, A. S., Figueiredo, M. S., & Torres, L. M. Physicochemical characterization and antibacterial activity of *Melipona subnitida* and *Melipona scutellaris* honey from the Brazilian semiarid region. (2019). *Food Science and Technology*, 39(1), 35-42.
- Ávila, R. W., Sodr , G. S., de Souza, B. A., & Campos, L. A. (2019). Characterization and determination of the physicochemical and microbiological parameters of honeys from stingless bees (Hymenoptera: Apidae) from the Northeastern Brazil. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 2), 356-361.
-  vila, S. et al. Stingless bee honey: Quality parameters, bioactive compounds, health-promotion properties and modification detection strategies. (2018). *Trends in Food Science and Technology*, v. 81, n. September, p. 37–50.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. (1996). *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.

- Bezerra, A. M. E., Ferreira, L. M. A., de Castro, R. N., Júnior, L. F. M., Santos, F. A. R., & de Souza, E. L. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of honeys produced by stingless bees (Apidae: Meliponinae) from the Brazilian semiarid region. (2018). *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 2), 306-313.
- Biluca, F. C. et al. Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). (2016). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 50, p. 61–69.
- Biluca, F. C., de Oliveira, D. E., Zaluski, R., Fagundes, M., da Luz, C. F. P., de Carvalho, A. C. O., & Gonzaga, L. V. (2017). Caracterização físico-química e atividade antioxidante de méis de abelhas-sem-ferrão do Sul do Brasil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20.
- Biluca, F. C., de Oliveira, V. R., Franchi, C. A. D., & Conte Júnior, C. A. (2017). Physicochemical and microbiological parameters of honey samples from *Apis mellifera* and stingless bees (*Melipona subnitida*) in the state of Maranhão, Brazil. *Food Science and Technology*, 37(Suppl. 1), 139-144.
- Biluca, F. C., Silva, B. Da., Caon, T., Mohr, E. T. B., Vieira, G. N., Gonzaga, L. V., Vitali, L., Micke, G., Fett, R., Dalmarco, E. M. (2020). Investigation of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (Meliponinae). *Food Research International*, [S.L.], v. 129, p. 108756, mar.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Instrução normativa número 11, de 20 de outubro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel. <http://www.agricultura.gov.br/>. D.O.U., Seção I, p.16-17.
- Caldeira, L. A., Alves, É. E., Ribeiro, A. D. M. F., Rocha Júnior, V. R., Antunes, A. B...Martinez, R. I. E. (2018). Viability of probiotic bacteria in bioyogurt with the addition of honey from Jataí and Africanized bees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [S.L.], v. 53, n. 2, p. 206-211.
- Cárdenas-Escudero, J., Galán-Madruga, D., & Cáceres, J. O. (2023). Rapid, reliable and easy-to-perform chemometric-less method for rice syrup adulterated honey detection using FTIR-ATR. *Talanta*, 253.
- da Silva, T. F., de Lima, C. P., de Sousa, L. V., da Silva, A. C., de Figueiredo, R. W., de Araújo, G. D. L., & Feitosa, S. (2020). Oligossacarídeos presentes em méis de abelhas-sem-ferrão: caracterização química e potencial prebiótico. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 49668-49680.

- Das, A. et al. Evaluation of antioxidative, antibacterial and probiotic growth stimulatory activities of *Sesamum indicum* honey containing phenolic compounds and lignans. *Lwt*, v. 61, n. 1, p. 244–250, 2015.
- de Melo, I. L. P., Marques, M. R., Dantas, L. M. C., Costa, F. H. F., de Oliveira, E. S., & de Souza, E. L. (2020) Physicochemical and microbiological characterization of honey produced by *Melipona subnitida* and *Apis mellifera* in the Northeastern region of Brazil. *Ciência Rural*, 50(5).
- Garibaldi, L. A. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, v. 339, n. 6127, p. 1608-1611.
- Gök, S., Severcan, M., Goormaghtigh, E., Kandemir, I., & Severcan, F. (2015). Differentiation of Anatolian honey samples from different botanical origins by ATR-FTIR spectroscopy using multivariate analysis. *Food Chemistry*, 170, 234–240.
- Helyar, S. J., Adams, A., & McKeown, S. Impacts of honey production on the rainforest understory and implications for the great apes of Nigeria's Ebo Forest. (2010). *Journal of Apicultural Research and Bee World*, 49(4), 366-372.
- Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. 4ª edição. São Paulo: IMESP;. Capítulo V: Análise de açúcares. Seção 5.1: Determinação de açúcares redutores. p. 112-115.
- International Honey Commission. (2012). *Harmonised methods of the International Honey Commission*.
- Kasprzyk, I., Depciuch, J., Grabek-Lejko, D., & Parlinska-Wojtan, M. (2018). FTIR-ATR spectroscopy of pollen and honey as a tool for unifloral honey authentication. The case study of rape honey. *Food Control*, 84, 33–40.
- Lima, B. P., Santos, C. F., Carvalho, C. A. L., & Silva, M. S. (2020). Determination of hydroxymethylfurfural in honey of stingless bees from different regions in Brazil. *Food Control*, 117.
- Mascareli, V. A. B., Galvan, D., Andrade, J. C. de, Lelis, C., Conte-Junior, C. A., Lopes, G. M. G., Macedo Júnior, F. C. de, & Spinosa, W. A. (2023). Spectralprint techniques coupled with chemometric tools for vinegar classifications. *Food Chemistry*, 410, 135373.
- Meireles, S; Cançado, I, A, C. *Mel: parâmetros de qualidade e suas implicações para a saúde*. (2016). Disponível em: <https://periodicos.fapam.edu.br/index.php/synthesis/article/view/70>. Acesso em: 29 ago. 2023.

- Mercês, M. D., Peralta, E. D., Uetanabaro, A. P. T., Lucchese, A. M. Atividade antimicrobiana de méis de cinco espécies de abelhas brasileiras sem ferrão. *Ciência Rural*, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 672-675, 15 mar. 2013.
- Melo, F.H. C.; Menezes, F. N.D. D.; Sousa, J. M. B.; Lima, M. S.; Borges, G. S.C.; Souza, E.L.; Magnani, M. (2020). Prebiotic activity of monofloral honeys produced by stingless bees in the semi-arid region of Brazilian Northeastern toward *Lactobacillus acidophilus* LA-05 and *Bifidobacterium lactis* BB-12. *Food Research International*, v. 128, p. 108-109,
- Oliveira, J. S., de Paula, E. F., Santiago, G. M. P., de Sousa, J. P. B., & Damasceno, K. A. (2017). Atividade antioxidante de méis de abelhas-sem-ferrão de diferentes espécies do estado do Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 15(2), 129-135.
- Oliveira, R. P., Menezes, L. P., Souza, B. A., de Lima, L. B., & Campos, L. A. (2017). Physicochemical, microbiological, and bioactive compounds of honey samples produced by *Melipona subnitida* in the Brazilian semiarid region. *Food Science and Technology*, 37(Suppl. 1), 110-114.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Santos, C. F., Souza, B. A., & Silva, M. S. HMF levels in stingless bee honeys from Northeastern Brazil. (2019). *Food Science and Technology*, 39(2), 363-367.
- Shamsudin, S., Selamat, J., Sanny, M., Razak, S-B. A., Jambari, N., Mian, Z., Khatib, A. Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. (2019). *International Journal Of Food Properties*, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 239-264, 1 jan.
- Singleton, V. L., & Rossi Jr, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Sousa, J. P. B., Souza, B. A., Monteiro, A. P. O., & Campos, L. A. (2016). Physicochemical characterization of honey from stingless bees (*Melipona subnitida*) produced in the semi-arid region of Northeastern Brazil. *Food Science and Technology*, 36 (Suppl. 1), 96-101,
- Sousa, J. P. B., Souza, B. M., Sousa, C. M., Gonçalves, L. R. B., Rodrigues, M. R. A., & Lima, E. O. (2016). Atividade antimicrobiana de méis de abelhas-sem-ferrão do Maranhão. *Arquivos do*

Instituto Biológico, 83.

Villacrés-Granda, I., Coello, D., Proaño, A., Ballesteros, I., Roubik, D.W., Jijón, G., Granda-Albuja, G., Granda-Albuja, S., Abreu-Naranjo, R., Maza, F. (2021). Honey quality parameters, chemical composition and antimicrobial activity in twelve Ecuadorian stingless bees (Apidae: apinae). *Lwt*, [S.L.], v. 140, p. 110737, abr.

Tabela 1- Identificação das amostras dos méis de abelha-sem-ferrão.

Local de coleta	Espécie	Nomenclatura popular	Código das amostras
São José Dos Pinhais	<i>Tetragona clavipes</i>	Borá	BR. S
Curiúva	<i>Tetragona clavipes</i>	Borá	BR.C
São José dos Pinhais	<i>Tetragonisca angustula</i>	Jataí	JT. S
Curiúva	<i>Tetragonisca angustula</i>	Jataí	JT.C
São José dos Pinhais	<i>Scaptotrigona bipunctata</i>	Tubuna	TB. S
Prudentópolis	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Mandaçaia	MC.P

Tabela 2 - Valores dos parâmetros Físico-Químicos, Atividade Antioxidante e Fenólicos Totais dos méis.

Valores de referência*		Amostras					
		BR.S	BR.C	JT.S	JT.C	TB.S	MC.P
AR (%)	> 65,0	69,31± 0,24 ^c	71,81±0,00 ^b	72,76±0,14 ^c	71,07±0,11 ^a	59,26±0,28 ^d	62,69±0,00 ^d
°Brix (%)	-	38,73 ±1,06 ^d	47,13±1,62 ^b	39,36±0,17 ^a	69,03 ±0,86 ^c	26,27±0,79 ^f	27,02±0,75 ^e
Cinzas g.100g	< 0,6	0,02 ± 0,03 ^b	0,01±0,01 ^{a, b}	0,02±0,02 ^b	0,00±0,02 ^a	0,01±0,26 ^{a, b}	0,01±0,17 ^{a, b}
Acidez (mEq/Kg)	< 50,0	123,98±1,41 ^d	134,28±0,48 ^c	78,98±1,84 ^c	69,39 ±2,14 ^f	194,1 ±2,11 ^b	205,4±4,32 ^a
pH		3,75 ± 0,01 ^b	3,80 ± 0,02 ^b	3,89±0,04 ^b	4,70±0,59 ^a	3,48 ± 0,03 ^b	3,60 ± 0,08 ^b
HMF (mg/Kg)	< 60,0	10,09 ± 0,61 ^b	20,67 ± 0,28 ^a	22,59±0,35 ^d	22,59±0,59 ^d	23,42±1,29 ^d	7,45± 0,01 ^c
Aw	-	0,88 ± 0,01 ^b	0,78 ± 0,01 ^c	0,79±0,00 ^c	0,72±0,00 ^a	0,84 ±0,02 ^b	0,76±0,01 ^c
Cor P-fund 635 OD	-	0,969 ± 0,00 ^b	1,110±0,01 ^a	0,890 ± 0,00 ^c	0,858 ±0,00 ^d	0,410 ± 0,01 ^f	0,651 ± 0,00 ^e
Cor	Âmbar extra-claro à âmbar extra-escuro	Âmbar-escuro	Âmbar-escuro	Âmbar	Âmbar	Âmbar- claro	Âmbar
Antioxidante e Compostos Fenólicos							
Fenólicos Totais	-	1038±0,04 ^a	1066±0,01 ^a	732±0,0 ^d	887± 0,0 ^c	481± 0,0 ^b	1089±0,01 ^a
FRAP	-	2669 ±0,07 ^b	3175±0,01 ^a	3208±0,12 ^a	3692±0,08 ^a	3992±0,07 ^a	3547± 0,07 ^a
ABTS	-	82,29±0,04 ^b	80,16±0,07 ^a	59,43±0,07 ^c	54,28±0,04 ^f	69,30±0,14 ^d	68,06±0,07 ^c

* Brasil (2000).

**Valores apresentados por média $\pm$ desvio padrão. Médias com letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente ($p < 0,05$). (BR. S) Borá de São José dos Pinhais-PR; (BR.C) Borá de Curiva-PR; (JT.C) Jataí de Cúruva- PR; (JT. S) Jataí de São José dos Pinhais- PR; (TB. S) Tubuna de São José dos Pinhais- PR; Mandaçaia de Prudentópolis- PR.

ABTS 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico); FRAP Ferric Reducing Ability Power.

Valores expressos em: FRAP ($\mu\text{mol Fe (II)g}$); Fenólicos totais ($\text{mg}^{-1} \text{g}$); ABTS (%).

Tabela 3 – Atribuição das principais bandas no espectro de FT-MIR para as amostras de mel.

Número de Onda (cm-1)	Vibrações	Compostos	Referências
3275	estiramento O-H e N-H	Água e vibrações das ligações de hidrogênio	
2943	estiramento C-H	grupos CH3 e CH2 presentes em ácidos orgânicos	(Cárdenas-Escudero et al., 2023)
2693	estiramento C-H	ligações alquil nas ligações CH3	
1524	estiramento C-C	furanose	(Kasprzyk et al., 2018)
1416	estiramento C-H	grupos CH3 de frutose	(Anjos et al., 2015)
1354	estiramento da ligação C-H	grupos CH2 de carboidratos.	
1250	estiramento da ligação N-H	Amida III de aminoácidos	(Kasprzyk et al., 2018)
1146	estiramento C-O-C	anéis de açúcares, como a frutose.	
1022	vibração de estiramento C-O	grupos OH presentes nos açúcares.	(Anjos et al., 2015) (Anjos et al., 2015)
910	flexão C-H	grupos CH3 presentes em carboidratos.	
864	vibração de flexão C-H	grupos CH2 presentes em carboidratos.	
817	flexão C-H	grupos CH3 e CH2 presentes em carboidratos.	(Gok et al., 2015)
763	flexão fora do plano (rocking) C-H	grupos CH2 presentes em carboidratos.	
686	flexão fora do plano (rocking) C-H	grupos CH3 presentes em carboidratos.	

Tabela 4 - Concentração Mínima Inibitória (CMI %) de méis de diferentes regiões do Estado do Paraná contra bactérias patogênicas.

	Amostras					
	BR.S	BR.C	JT.C	JT.S	TB.S	MC.P
Cepas	CMI (%)	CMI (%)	CMI (%)	CMI (%)	CMI (%)	CMI (%)
Bacterianas						
<i>Salmonella</i>	25	12,5	12,5	50	6,25	25
<i>E.coli</i>	25	25	50	50	6,25	25
<i>Staphylococ</i>	6,25	25	50	50	6,25	12,5
<i>cus aureus</i>						

(BR. S) Borá de São José dos Pinhais-PR; (BR.C) Borá de Curiva-PR; (JT.C) Jataí de Cúruva- PR; (JT. S) Jataí de São José dos Pinhais- PR; (TB. S) Tubuna de São José dos Pinhais- PR; Mandaçaia- Prudentópolis- PR.

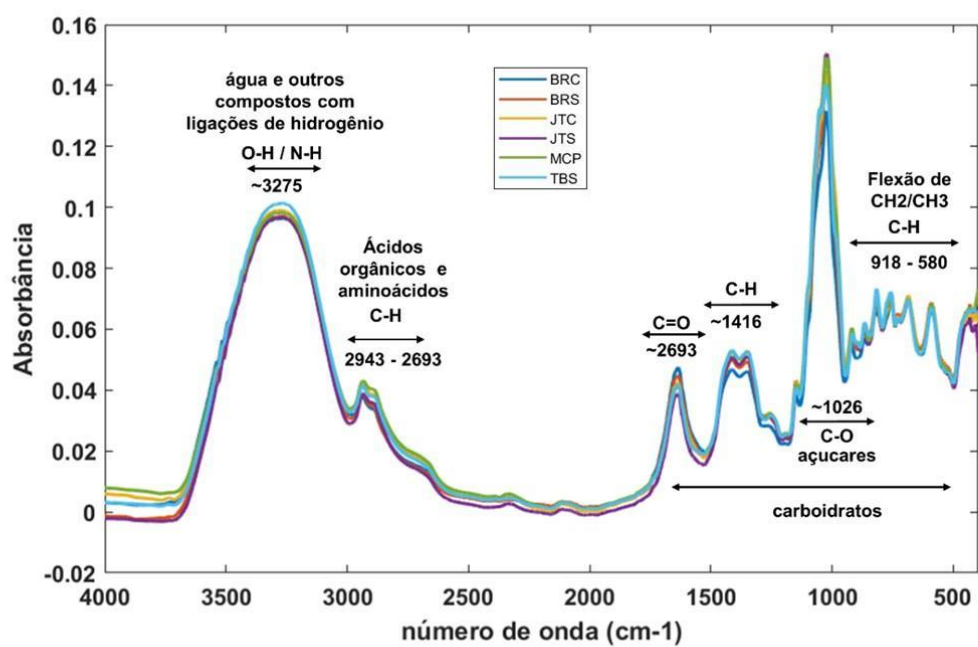


Figura 1 – Espectros FT-MIR para as amostras de mel.

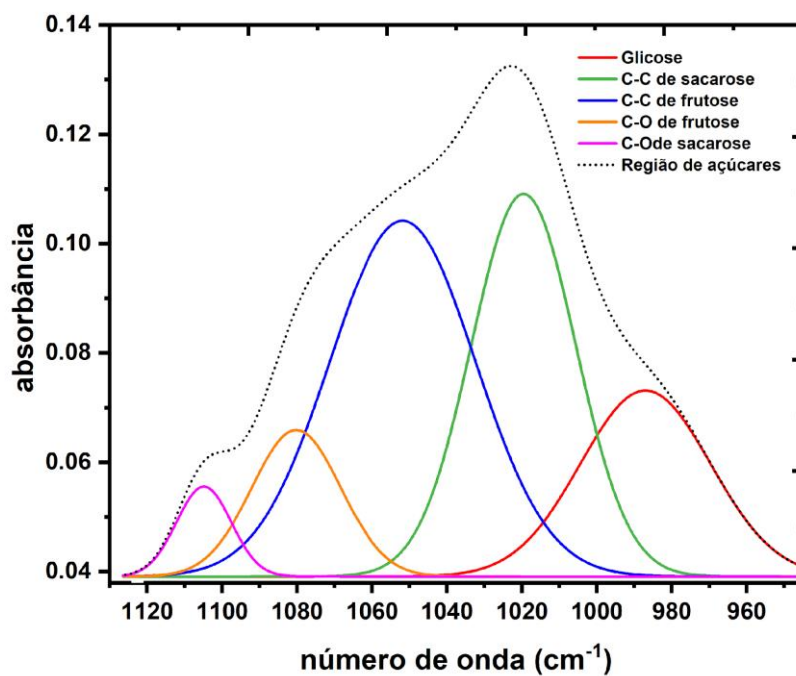


Figura 2 – Espectros FT-MIR deconvoluidos na região de açúcares (1104 a 950 cm⁻¹).

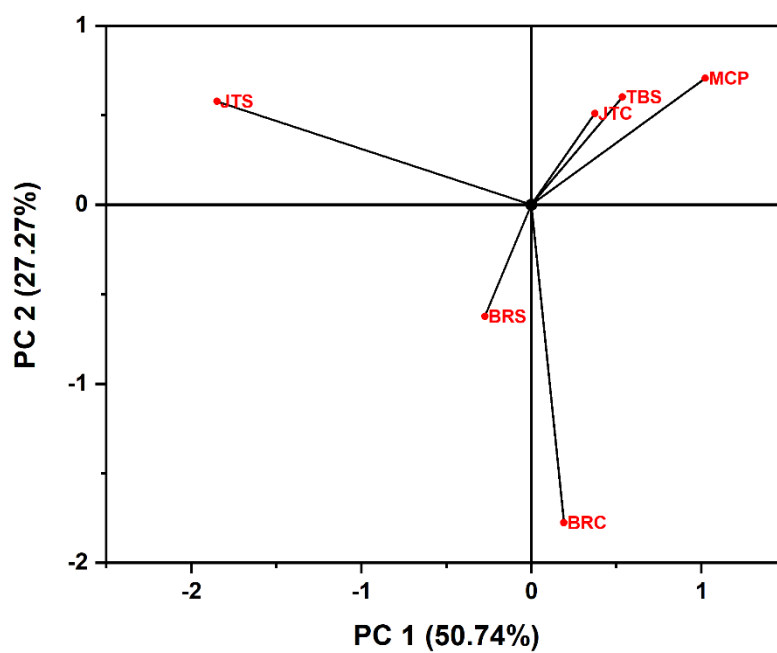


Figura 3 – Gráfico de scores da PCA para as amostras de mel.

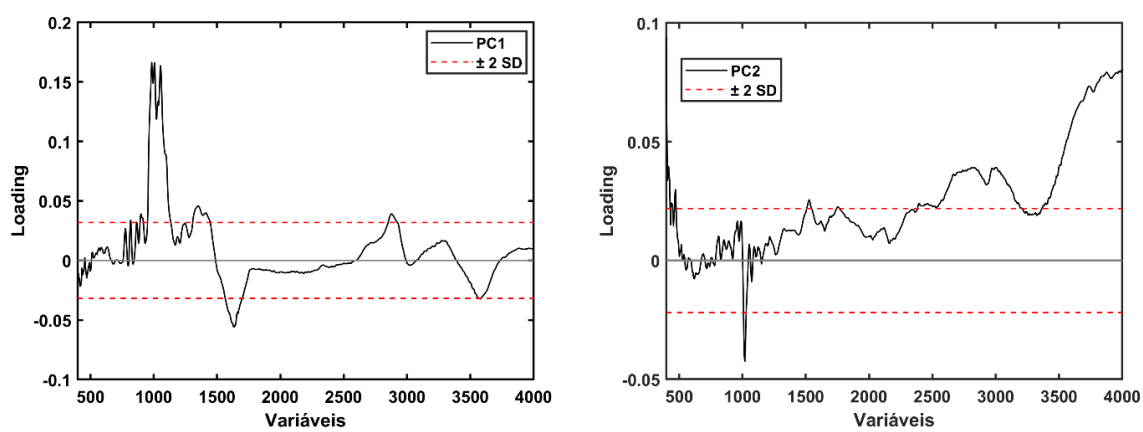


Figura 4 – Gráfico de loadings da PCA para as amostras de mel para as duas primeiras PCs.

Tabela 5- Valores médios de contagem da cepa *Bifidobacterium* .

AMOSTRAS								
TEMPO(H)	BR.S	BR.C	JT.C	JT.S	TB.S	MÇ.P	FOS	GLICOSE
0	5,46±0,02 ^{abcA}	5,36±0,03 ^{a A}	5,39±0,01 ^{ab A}	5,49±0,01 ^{c A}	5,44±0,01 ^{bc A}	5,41±0,01 ^{ab A}	5,43±0,01 ^{abcA}	5,43±0,03 ^{abcA}
12	5,51± 0,04 ^{a A}	5,38±0,04 ^{b A}	5,41±0,02 ^{ab A}	5,50±0,01 ^{c A}	5,47±0,01 ^{acA}	5,41±0,00 ^{ab A}	5,41±0,01 ^{ab A}	5,44±0,02 ^{ac A}
24	6,54±0,04 ^{a B}	6,43±0,01 ^{a C}	6,39± 0,00 ^{a B}	5,49±0,02 ^{a BC}	6,56±0,02 ^{a BC}	6,46±0,02 ^{a BC}	6,46±0 ^{a BC}	6,49±0,02 ^{a BC}
36	7,57±0,04 ^{a E}	7,43±0,01 ^{c DE}	7,39±0,00 ^{bd D}	5,55±0,02 ^{bd DE}	7,55±0,02 ^{c DE}	7,49±0,02 ^{b DE}	7,49±0 ^{b DE}	7,44±0,02 ^{cDE}
48	7,55±0,01 ^{acDE}	7,43±0,01 ^{c DE}	7,46±0,02 ^{cDE}	7,54±0,02 ^{bc DE}	7,57±0,01 ^{a E}	7,50±0,02 ^{bDE}	7,49±0,01 ^{c DE}	7,47±0,01 ^{cDE}

*Valores apresentados por média ± e desvio padrão expressos em log UFC mL⁻¹ letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma linha para diferentes amostras testadas denotam diferenças (p < 0,05), com base no teste de Tukey; Letras maiúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna para os diferentes tempos de cultivo denotam diferença (p < 0,05).

Tabela 6 - Valores médios de contagem da cepa *Lactobacillus acidophilus*.

AMOSTRAS								
TEMPO(H)	BR.S	BR.C	JT.C	JT.S	TB.S	MÇ.P	FOS	GLICOSE
0	5,39±0,01 ^{b ABC}	5,32±0,00 ^{abAB}	5,55±0,00 ^{b BCD}	5,43±0,00 ^{ab ABC}	5,13±0,01 ^{a A}	5,43±0,01 ^{ab AB}	5,37±0,01 ^{ab ABC}	5,45±0,00 ^{ab ABCD}
12	5,49±0,06 ^{a BCD}	5,49±0,11 ^{a CD}	5,67±0,08 ^{a BCD}	5,52±0,07 ^{a BCD}	5,41±0,06 ^{a BCD}	5,51±0,01 ^{a BCD}	5,43±0 ^{a BCD}	5,48±0,03 ^{a BCD}
24	6,58±0,01 ^{b E}	6,56 ±0,01 ^{b E}	6,69±0,00 ^{a E}	6,63±0,02 ^{bE}	6,56±0,01 ^{b E}	6,63±0,02 ^{a E}	6,56±0,01 ^{b E}	6,69±0,01 ^{ac E}
36	7,66±0,01 ^{a F}	7,67±0,01 ^{a F}	6,69±0,01 ^{b F}	7,65±0,01 ^{a F}	7,62±0,02 ^{a F}	7,63±0,02 ^{a F}	7,64±0,02 ^{a F}	7,75±0,02 ^{b F}
48	7,68±0,01 ^{b F}	7,68±0,01 ^{b F}	7,74±0,01 ^{a F}	7,68±0,01 ^{bF}	7,62±0,02 ^{c F}	7,75±0,01 ^{a F}	7,72±0,03 ^{abF}	7,72±0,03 ^{a F}

Valores apresentados por média ± e desvio padrão expressos em log UFC mL⁻¹: letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma linha para diferentes amostras testadas denotam diferenças ($p < 0,05$), com base no teste de Tukey; Letras maiúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna para os diferentes tempos de cultivo denotam diferença ($p < 0,05$).