



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS
DA VIDA E DA NATUREZA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL**

**EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E GEOGRÁFICAS NO PERFIL
FÍSICO-QUÍMICO E DE ANTIOXIDANTES DE MÉIS DE *Apis mellifera* DO
EXTREMO OESTE DO PARANÁ**

JULIANA FERREIRA

Foz do Iguaçu – PR
2024



INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS
DA VIDA E DA NATUREZA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL

**EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E GEOGRÁFICAS NO PERFIL
FÍSICO-QUÍMICO E DE ANTIOXIDANTES DE MÉIS DE *Apis mellifera* DO EXTREMO
OESTE DO PARANÁ**

JULIANA FERREIRA

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Neotropical do Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Neotropical.

Orientador: Prof^o Dr. Luiz Roberto Ribeiro Faria Junior
Co-orientadora: Prof^a Dra. Marcela Boroski

Foz do Iguaçu - PR
2024

F383e

Ferreira, Juliana.

Efeito das características botânicas e geográficas no perfil físico-químico e de antioxidantes de méis de *Apis mellifera* do extremo oeste do Paraná / Juliana Ferreira. - Foz do Iguaçu, 2025.
42 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Biologia, mestrado em Biodiversidade Neotropical.

Orientador: Luiz Roberto Ribeiro Faria Junior.

Coorientador: Marcela Boroski.

1. Agricultura. 2. Abelhas - Criação. 3. Antioxidantes. 4. Mel. 5. Pólen. 6. Colmeias. I. Faria Junior, Luiz Roberto Ribeiro. II. Boroski, Marcela. III. Título.

CDU 638.16(816.2)

EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E GEOGRÁFICAS NO PERFIL FÍSICO-QUÍMICO E DE ANTIOXIDANTES DE MÉIS DE *Apis mellifera* DO EXTREMO OESTE DO PARANÁ

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Neotropical do Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito para a obtenção do título em Biodiversidade Neotropical.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof^o Dr. Luiz Roberto Ribeiro Faria Junior

UNILA

Coorientadora: Prof^a Dra Marcela Boroski

UNILA

Prof. Dra Ana Caroline Gonçalves

UNILA – Externo ao Programa

Prof. Dr. Fernando César Vieira Zanella

UNILA

Foz do Iguaçu, 05 de julho de 2024.

*Dedico este trabalho aos meus pais Estrogildo (in
memorian) e Valeria Ferreira pelas lições de amor e o
apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida e por guiar meus passos.

Aos meus pais Estrogildo (*in memorian*) e Valeria Ferreira por me incentivarem sempre a me desafiar e nunca por limites em meus sonhos, e que de forma carinhosa sempre me mostraram que apesar das dificuldades, tudo que queremos podemos alcançar, independente das dificuldades.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Luiz Roberto Ribeiro Faria Junior e a coorientadora Prof^a. Dr^a. Marcela Boroski por me orientarem e contribuírem na minha formação profissional e pessoal. E, principalmente, obrigada por terem acreditado e depositado confiança em mim ao longo desta pesquisa.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Estudos Interdisciplinares do Meio Ambiente e Alimentos (LEIMAA) pelas ajudas e pelos bons momentos compartilhados, em especial Cristian Godoy, Daniela de Quadros Pedroso, Luana Knal e Emellyn Bubiak. Agradeço também a professora Dr^a. Juliana do Nascimento Bendini e toda sua equipe da Universidade Federal do Piauí, que nos prestou grande ajuda para a realização das análises palinológicas dos méis coletados. Ao secretário do Programa PPGBN Celso Junior, pela paciência em me ajudar, sendo um grande apoio nos bastidores para minhas indignações, reclamações, chuva de lágrimas, incentivando a não desistir por conta de todo o caminho já percorrido.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram nesta etapa da minha vida.

Obrigada!

RESUMO

A estrutura de produção de mel no Estado do Paraná encontra-se dispersa em um grande número de pequenos produtores. Em 2019 o estado participou com 16% da produção de mel nacional, superado apenas pelo Rio Grande do Sul, que alcança o montante de 20% da produção. O Brasil, apesar do vasto potencial para a produção apícola e de ser reconhecidamente um dos países exportadores de mel de alta qualidade, contribuiu, nos últimos anos, com apenas 4% do volume das exportações globais do produto. O estudo da relação entre o pasto apícola e a composição do mel, incluindo suas propriedades físico-químicas e compostos bioativos, contribui para o entendimento da influência da paisagem no entorno das colmeias nas propriedades nutricionais e nutracêuticas do mel. O mel aparece também como produto importante para monitoramento da biodiversidade, principalmente polinizadores, muito além de sua importância especificamente no contexto produtivo. O presente estudo teve como objetivo caracterizar os méis provenientes da região oeste do Paraná, em termos de suas características físico-químicas e de antioxidantes, avaliando a influência de características botânicas e geográficas da região nesse produto das abelhas. Foram avaliadas amostras de méis provenientes de 15 apiários localizados nos municípios de Santa Terezinha, São Miguel do Iguaçu, Matelândia, São Pedro do Iguaçu, Alvorada do Oeste, Diamante do Oeste e Foz do Iguaçu, coletados em três períodos distintos do ano, correspondentes a safra de soja, milho e florada silvestre, totalizando 45 amostras. Foram realizadas análises de atividade antioxidante e compostos bioativos, sendo os dados obtidos submetidos à análise multivariada de componentes principais (PCA). Adicionalmente realizou-se a análise palinológica dos méis. Quanto às análises físico-químicas, a acidez dos méis ficou na faixa de 26 a 40 Meq/kg e valores de pH em torno de 3,20 a 4,60. As amostras apresentaram percentual de umidade entre 19 a 21% demonstrando o estágio de maturação do mel. Em relação à determinação de HMF (5-hidróximetilfurfural) os valores encontrados foram entre 3,71 a 62,32 mg/kg e furfural entre 1,72 a 2,50 mg/kg. Com relação aos antioxidantes analisados obteve-se um teor de fenólicos em torno de 52 a 200 mg EAG/100g⁻¹, flavonóides entre 3 a 6x10⁻⁴ mg EAG/100⁻¹, valores de DPPH variando entre 2,66 a 5,62 mMol et 100⁻¹, ABTS de 0,83 a 2,89 mMol EAG/100⁻¹ e ferricianeto com valores de 40 a 179 mg EAG/100⁻¹. A análise palinológica evidenciou um predomínio de pólen oriundo de outros tipos polínicos, em detrimento ao pólen de milho/soja. Por meio dos resultados obtidos, considerando análise físico-química e atividade antioxidantes por meio de análise por PCA e PCoA, foi possível perceber que os componentes físico-químicos não apresentam relação direta com a origem geográfica e/ou botânica, mas sim com as condições higiênico-sanitárias pelas quais o mel estava sujeito. A época de coleta dos méis (safra de soja, safra de milho ou entressafra/ vazio sanitário) e a distância entre os apiários influenciaram significativamente os compostos bioativos presentes no mel.

Palavras-chaves: Agricultura; Apicultura; Antioxidantes; Mel; Pólen; Manejo de Colmeias.

ABSTRACT

The honey production structure in the State of Paraná is dispersed among a large number of small producers. In 2019, the state contributed 16% of the national honey production, surpassed only by Rio Grande do Sul, which reached 20% of the production. Brazil, despite its vast potential for beekeeping production and being recognized as one of the countries that exports high-quality honey, has contributed, in recent years, only 4% of the volume of global exports of the product. The study of the relationship between bee pasture and the composition of honey, including its physical-chemical properties and compounds bioactives, contributes to the understanding of the influence of the landscape surrounding the hives on the nutritional and nutraceutical properties of honey. Honey also appears as an important product for monitoring biodiversity, especially pollinators, far beyond its importance specifically in the production context. The present study aimed to characterize honey from the western region of Paraná, in terms of its physicochemical and antioxidant characteristics, evaluating the influence of botanical and geographical characteristics of the region on this bee product. Honey samples from 15 apiaries located in the municipalities of Santa Terezinha, São Miguel do Iguaçu, Matelândia, São Pedro do Iguaçu, Alvorada do Oeste, Diamante do Oeste and Foz do Iguaçu were evaluated, collected in three different periods of the year, corresponding to the soybean and corn harvests and wild flowering, totaling 45 samples. Analyses of antioxidant activity and bioactive compounds were performed, and the data obtained were subjected to multivariate principal component analysis (PCA). Additionally, palynological analysis of the honeys was performed. Regarding the physicochemical analyses, the acidity of the honeys was in the range of 26 to 40 Meq/kg and pH values around 3.20 to 4.60. The samples presented a moisture percentage between 19 and 21%, demonstrating the honey's maturation stage. Regarding the determination of HMF (5-hydroxymethylfurfural), the values found were between 3.71 and 62.32 mg/kg and furfural between 1.72 and 2.50 mg/kg. Regarding the antioxidants analyzed, a phenolic content of around 52 to 200 mg EAG/100g⁻¹ was obtained and flavonoids between 3 and 6x10⁻⁴ mg EAG/100⁻¹. DPPH values ranging from 2.66 to 5.62 mMol et 100⁻¹, ABTS from 0.83 to 2.89 mMol EAG/100⁻¹ and ferricyanide with values from 40 to 179 mg EAG/100⁻¹. The palynological analysis showed a predominance of pollen from other pollen types, to the detriment of corn/soybean pollen. Through the results obtained, considering physicochemical analysis and antioxidant activity through PCA and PCoA analysis, it was possible to perceive that the physicochemical components do not have a direct relationship with the geographic and/or botanical origin, but rather with the hygienic-sanitary conditions to which the honey was subjected. The time of honey collection (soybean harvest, corn harvest or off-season/sanitary break) and the distance between the apiaries significantly influenced the bioactive compounds present in the honey.

Keywords: Agriculture; Beekeeping; Antioxidants; Honey; Pollen; Beehive Management.

RESUMEN

La estructura productiva de la miel en el Estado de Paraná se encuentra dispersa entre un gran número de pequeños productores. En 2019, el estado participó con el 16% de la producción nacional de miel, superado sólo por Rio Grande do Sul, que alcanzó el 20% de la producción. Brasil, a pesar del gran potencial para la producción apícola y de ser reconocido como uno de los países exportadores de miel de alta calidad, contribuyó, en los últimos años, con sólo el 4% del volumen de las exportaciones globales del producto. El estudio de la relación entre el pasto de las abejas y la composición de la miel, incluidas sus propiedades y compuestos fisicoquímicos bioactivos, contribuye a la comprensión de la influencia del paisaje que rodea las colmenas sobre las propiedades nutricionales y nutracéuticas de la miel. La miel también aparece como un producto importante para el seguimiento de la biodiversidad, especialmente de los polinizadores, mucho más allá de su importancia específicamente en el contexto productivo. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar mieles de la región occidental de Paraná, en términos de sus características físico-químicas y antioxidantes, evaluando la influencia de las características botánicas y geográficas de la región en este producto apícola. Se evaluaron muestras de miel de 15 apiarios ubicados en los municipios de Santa Terezinha, São Miguel do Iguaçu, Matelândia, São Pedro do Iguaçu, Alvorada do Oeste, Diamante do Oeste y Foz do Iguaçu, recolectadas en tres períodos diferentes del año, correspondientes a cultivos de soja, maíz y flores silvestres, totalizando 45 muestras. Se realizaron análisis de actividad antioxidante y compuestos bioactivos, siendo los datos obtenidos sometidos a análisis multivariado de componentes principales (PCA). Además se realizaron análisis palinológicos de las mieles. En cuanto a los análisis fisicoquímicos, la acidez de las mieles estuvo en el rango de 26 a 40 Meq/kg y los valores de pH rondaron los 3,20 a 4,60. Las muestras presentaron un porcentaje de humedad entre 19 y 21%, demostrando el estado de maduración de la miel. En cuanto a la determinación de HMF (5- hidroximetilfurfural), los valores encontrados estuvieron entre 3,71 y 62,32 mg/kg y furfural entre 1,72 y 2,50 mg/kg. En cuanto a los antioxidantes analizados, se encontró un contenido fenólico de alrededor de 52 a 200 mg EAG/100g⁻¹, flavonoides entre 3 a 6x10⁻⁴ mg EAG/100⁻¹, valores de DPPH que oscilan entre 2,66 y 5,62 mmol et 100⁻¹, ABTS de 0,83 a 2,89 mmol EAG/100⁻¹ y ferricianuro con valores de 40 a 179 mg EAG/100⁻¹. El análisis palinológico mostró un predominio de polen de otros tipos de polen, en detrimento del polen de maíz/soja. A través de los resultados obtenidos, considerando análisis fisicoquímicos y actividad antioxidante mediante análisis PCA y PCoA, se pudo dar cuenta que los componentes fisicoquímicos no tienen relación directa con el origen geográfico y/o botánico, sino con las condiciones higiénico-sanitarias. por el cual la miel fue contaminada. La temporada de recolección de miel (cosecha de soja, cosecha de maíz o fuera de temporada/vacío sanitario) y la distancia entre los apiarios influyeron significativamente en los compuestos bioactivos presentes en la miel.

Palabras clave: Agricultura; Apicultura; Antioxidantes; Miel; Polen; Gestión de colmenas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das amostras de méis coletadas neste estudo obtidas pelo Software QGIS QGIS 3.32.2	15
Figura 2. Análise de pólen presente nas amostras da Coleta 1.....	24
Figura 3. Análise de pólen presente nas amostras da Coleta 2.....	24
Figura 4. Análise de pólen presente nas amostras da Coleta 3.....	25
Figura 5. Análise de componentes principais (PCA) de amostras de méis coletadas no oeste do Paraná, considerando a variação dos compostos bioativos das amostras. As cores nos círculos destacam a época da coleta (azul claro: após floração da soja; azul intermediário: florada do milho; azul escuro: vazio sanitário.....	26
Figura 6. Análise de coordenadas principais (PCoA) de amostras de méis coletadas no oeste do Paraná, considerando a variação de suas características físico-químicas. As cores nos círculos destacam a época da coleta (azul claro: após floração da soja; azul intermediário: florada do milho; azul escuro: vazio sanitário.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises físico-químicas de méis de *Apis mellifera* de apiários da região Oeste do Paraná..... 22

Tabela 2. Resultados das análises de antioxidantes presentes em méis de *Apis mellifera* de apiários da região Oeste do Paraná..... 23

Tabela 3. Modelos preditores para análise da variação dos compostos bioativos em méis coletados na região oeste do Paraná (escores do PC1). k: número de parâmetros do modelo; AIC_i: valor de verossimilhança do modelo segundo critério de informação de Akaike.28

Tabela 4. Modelos preditores para análise da variação das características físico-químicas de méis coletados na região oeste do Paraná (escores da PCoA1). k: número de parâmetros do modelo; AIC_i: valor de verossimilhança do modelo segundo critério de informação de Akaike.28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Comex	Comércio Exterior
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
QuEChERS	Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe
HPLC-FLD	Cromatografia Líquida com Detector de Fluorescência
GLI	Glifosato
AMPA	Ácido Aminometilfosfônico
LMR	Limite Máximo de Resíduos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
LC-MS/MS	Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massa em Tandem
HPLC-DAD	Cromatografia Líquida com Detector de Arranjo de Diodo
IC-HRMS	Cromatografia Iônica com Espectrometria de Massa de Alta Resolução
HILIC-MS/MS	Cromatografia Líquida com Interação Hidrofílica acoplada a Espectrometria de Massa em Tandem
HPLC-ESI-MS-MS	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Espectrometria de Massa em Tandem com Ionização por Eletrospray
FMOC-Cl	Cloreto de Fluorenilmetiloxicarbonila
MgSO ₄	Sulfato de Magnésio
NaCl	Cloreto de Sódio
UHPLC	Cromatógrafo Líquido de Ultra Eficiência
H ₃ PO ₄	Ácido Fosfórico
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LOD	Limite de Detecção
LOQ	Limite de Quantificação
mg	Miligrama
mL	Mililitro
µg	Micrograma
µL	Microlitro
kg	Quilograma
L	Litro
mmol	Milimol

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO GERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1 REAGENTES E EQUIPAMENTOS	13
2.2 AMOSTRAGEM	13
2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MÉIS	15
2.4 ANÁLISE PALINOLÓGICA	19
2.5 ANÁLISES DE DADOS	19
3. RESULTADOS	21
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
4. DISCUSSÃO	29
5. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PESQUISA	32
AGRADECIMENTOS	33
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

À medida que mais terras são usadas para produzir intensivamente produtos agrícolas necessários para uma população humana crescente (Harrison et al., 2014), há uma necessidade crescente de serviços ecossistêmicos exigidos por essas culturas, especialmente a polinização de polinizadores selvagens e abelhas *Apis mellifera* (*Apis mellifera*).

A produção de mel gera renda local a partir da produção de mel cru e seus derivados, juntamente com serviços de polinização que se traduzem em rendimento agrícola (Aneni et al., 2016; Medina-Cuéllar et al.; 2018; Potts et al., 2010a, 2010b). O Estado do Paraná se manteve como um dos principais produtores nacionais de mel, com 7.844 toneladas produzidas pela espécie *Apis mellifera* em 2020, o que representa 15,2% de toda produção nacional. A atividade é importante na geração de emprego e renda, na diversificação da propriedade rural e nos benefícios sociais, econômicos e ecológicos que proporciona. A apicultura caracteriza-se pela exploração econômica e racional da abelha *Apis mellifera*, atividade que é realizada em todo o território brasileiro (IBGE, 2022). A região oeste do Paraná é considerada o celeiro do Estado e, concomitante a essa produção exacerbada de grãos, tem forte presença da apicultura, esta última levada à frente por pequenos, médios e grandes produtores. Como outro ponto importante da realização de ambas as atividades na região, a alta produtividade de grãos torna necessária a observação dos efeitos deletérios das substâncias utilizadas no manejo e colheita dos grãos sobre a biodiversidade local, dinâmica das populações de *Apis mellifera*, bem como a composição do mel (Geiger, 2010; Sek et al, 2023).

A composição do mel é bastante variável e depende principalmente da fonte floral. No entanto, certos fatores externos também desempenham um papel importante, como fatores sazonais, ambientais e do próprio processamento do produto (Sek et al, 2023). O mel é uma solução supersaturada de açúcares, dos quais frutose (38%) e glicose (31%) são os principais contribuintes. Este alimento natural é produzido em quase todos os países e amplamente consumido como alimento. A popularidade deste complexo doce natural tem aumentado nos últimos anos devido às alegações de benefícios à saúde, sendo considerado um ingrediente desejável em produtos alimentícios (Tang, 2021). O mel contém inúmeros compostos, como ácidos orgânicos, proteínas, aminoácidos, minerais, flavonoides, polifenóis, vitaminas (ácido ascórbico) e compostos aromáticos (Schäfer, 2019).

Considerando a região oeste do Paraná, foram considerados como análises relevantes as que relacionam as propriedades do mel tal como os parâmetros físico-químicos como a cor, umidade, hidroximetilfurfural, pH e acidez livre, também foram analisados os compostos bioativos (compostos fenólicos e flavonoides) e atividade antioxidante. As amostras de mel sofrem influência quanto a sua origem fitogeográfica e possuem potencial antioxidante (Fikadu, 2020 Royo et al,

2022).

Os compostos bioativos, sofreram variação, de acordo com a época da colheita do mel, devido ao tipo de florada, uma vez que esta interfere diretamente na sua coloração (Galhardo, 2021). Em estudos realizados na Região Oeste, durante os períodos de coletas houveram mudanças na intensidade da coloração do mel, já que as amostras coletadas em setembro, outubro e novembro caracterizaram-se por tonalidades mais claras, que de acordo com as literaturas ocorre uma redução dos compostos bioativos e atividade antioxidante (Melo et al., 2018; Bãnsch et al., 2020). Ao analisar a biodiversidade percebeu-se que nos períodos de verão a disponibilidade de plantas visitadas é maior e conseqüentemente trouxe nos estudos um maior percentual de bioativos no mel (Ferreira et al., 2020)

Neste contexto, a análise palinológica fornece informações de forma a determinar a época de permanência de colmeias em determinado local por meio da determinação das floradas de mata nativa da região e de áreas de recuperação florestal para fins de conservação e produção (Galhardo, 2021; Marcolin et al., 2021) com o intuito de auxiliar os apicultores locais a definirem estratégias de exploração racional e de conservação dos remanescentes florestais e áreas de reflorestamento do Oeste paranaense (Fikadu, 2020; Tonelli, 2022).

Com relação aos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) é importante destacar a temática com a ODS 15, que faz referência à vida terrestre, onde proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (ONU, 2024)

1.1. OBJETIVO GERAL

Caracterizar os méis provenientes da região oeste do Paraná, buscando relações entre características botânicas e geográficas da região com parâmetros físico-químicos e da atividade antioxidante dos méis analisados.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físico-químicas do mel *Apis mellifera* da região oeste do Paraná;
- Avaliar as características bioativas antioxidantes do mel *Apis mellifera* da região oeste do Paraná;
- Comparar as características físico-químicas e bioativas do mel, considerando a região Oeste do Paraná;
- Fornecer subsídios para a discussão da gestão da paisagem da região, considerando o papel polinizador das abelhas, a prática tanto da agricultura de larga escala quanto da apicultura, bem como a importância do mel no monitoramento da biodiversidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 REAGENTES E EQUIPAMENTOS

Ácido gálico ($C_7H_6O_5$, MM 170,12 g/mol, 99%, Neon), carbonato de sódio (Na_2CO_3 , MM 105,99 g/mol, 99%, Êxodo Científica), metanol PA (CH_3OH , MM 32,04 g/mol, Sal-R), Reagente fenólico de Folin-Ciocalteu (2 N, IMBRALAB), cloreto de alumínio ($AlCl_3$, MM133,34 g/mol, 99%, Dinâmica), Acetona PA (C_3H_6O , MM58,08 g/mol, Synth), Quercetina ($C_{15}H_{10}O_7$, MM302,23 g/mol, 99%, Sygma-Aldrich), DPPH ($C_{18}H_{12}N_5O_6$, 2,2-difenil-1-picrilhidrazila, MM394,32 g/mol, 99,9%, Sygma-Aldrich), ABTS (ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico, sal diamônico, $C_{18}H_{16}N_2O_6S_2$, MM414,42 g/mol, 99%, Sygma-Aldrich), Etanol PA (C_2H_6O , MM46,07 g/mol, Sal-R), Persulfato de potássio ($K_2S_2O_8$, MM270,32 g/mol, 99%, Dinâmica) Reagente Trolox ($C_{14}H_{18}O_4$, MM250,29 g/mol, 99%, Sygma-Aldrich), Fosfato monobásico de potássio (KH_2PO_4 , MM136,09 g/mol, Neon), Fosfato bibásico de potássio (K_2HPO_4 , MM174,18 g/mol, Êxodo Científica), Ácido clorídrico 37% PA (HCl , MM36,46 g/mol, CRQ), Ácido tricloroacético ($C_2HCl_3O_2$, MM163,39 g/mol, 99,2%, Neon), Ferricianeto de potássio ($K_3Fe(CN)_6$, MM329,24 g/mol, 99%, Sinergia Científica), Cloreto férrico ($FeCl_3$, MM162,20 g/mol, 99,5%, Dinâmica), Solução tampão acetato de sódio (300 mmol/L⁻¹, pH 3,6), Sulfato ferroso ($FeSO_4$, MM151,91 g/mol, 99%, Dinâmica), TPTZ (2,4,6-tripiridil-1,3,5-triazina, $C_{18}H_{12}N_4$, MM284,32 g/mol, 99%, Sygma-Aldrich), Água destilada (Tipo II, 18,1 MΩ cm⁻¹, PurelabOption Q system), pHmetro (Ohaus, Starter 3100M), cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC) empregando uma bomba de dois pistões, degaseificador, amostrador automático acoplado a um detector de fluorescência (FLD) (Modelo DionexUltiMate 3000, Thermo Scientific, Alemanha), Espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201), tubos cilíndricos de vidro de 10 cm com diâmetro interno de 1,2 mm, cubetas de vidro de 10 mm de caminho ótico, Glicerina $C_3H_8O_6$ MM92,09 g/mol⁻¹, Ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4 MM 98,07 g.mol⁻¹, Anidro acético $C_4H_6O_3$ MM 102,09 g.mol⁻¹, Ácido Acético Glacial CH_3COOH MM 60,05 g.mol⁻¹.

2.2 AMOSTRAGEM

2.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no extremo da região Oeste do Paraná, originalmente coberta, em maior parte, por Floresta Estacional Semidecidual (FES), conforme classificação da vegetação proposta por Veloso et al. (1991). Trata-se de uma formação representada por florestas variáveis fisionomicamente, constituídas por elementos arbóreos (perenifólios ou decíduos), além de elementos arbustivos, lianas e epífitas. Está relacionada em toda a sua área de ocorrência a um clima de duas estações definidas, uma chuvosa e outra seca, em latitudes menores, ou então a uma

acentuada variação térmica, especialmente em latitudes maiores que 24°S. Tais características climáticas são apontadas como fatores determinantes de uma forte estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, como resposta ao período de deficiência hídrica, ou à queda de temperatura nos meses mais frios (Veloso et al. 1991).

O clima da região é classificado como CFA de Köppen, subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes, geadas pouco frequentes, com tendência à concentração de chuvas em meses de verão e sem estação seca definida, e uma precipitação anual de 1600 mm (Monteiro, 1968). A região está incluída no terceiro planalto do Paraná conforme Balhana (1969). De acordo com Balhana (1969), a vegetação da região é a mesma que cobre grande parte do território paranaense, especialmente no oeste e regiões do norte do estado. A topologia do SH é predominantemente composta de relevo levemente ondulado (70%), seguido de relevo ondulado (20%) e ondulado forte (10%). A vegetação próxima ao lago de Itaipu, elemento central na paisagem da região, tem em média, 200 pés de largura por aproximadamente oitenta quilômetros de comprimento, e possui manchas de vegetação ciliar em rios bacias hidrográficas e Reserva Legal (Gajardo-Rojas, 2022).

A área de estudo e os pontos amostrais de méis coletados foram nos municípios de Foz do Iguaçu (n=7), Santa Terezinha de Itaipu (n=4), São Miguel do Oeste (n=1), São Pedro do Iguaçu (n=1) e Matelândia (n=2). Na Figura 1 encontra-se disposto os pontos amostrais que foram gerados pelo Software QGIS QGIS 3.32.2 com a bases catalográfica oriundas do IBGE (2021).

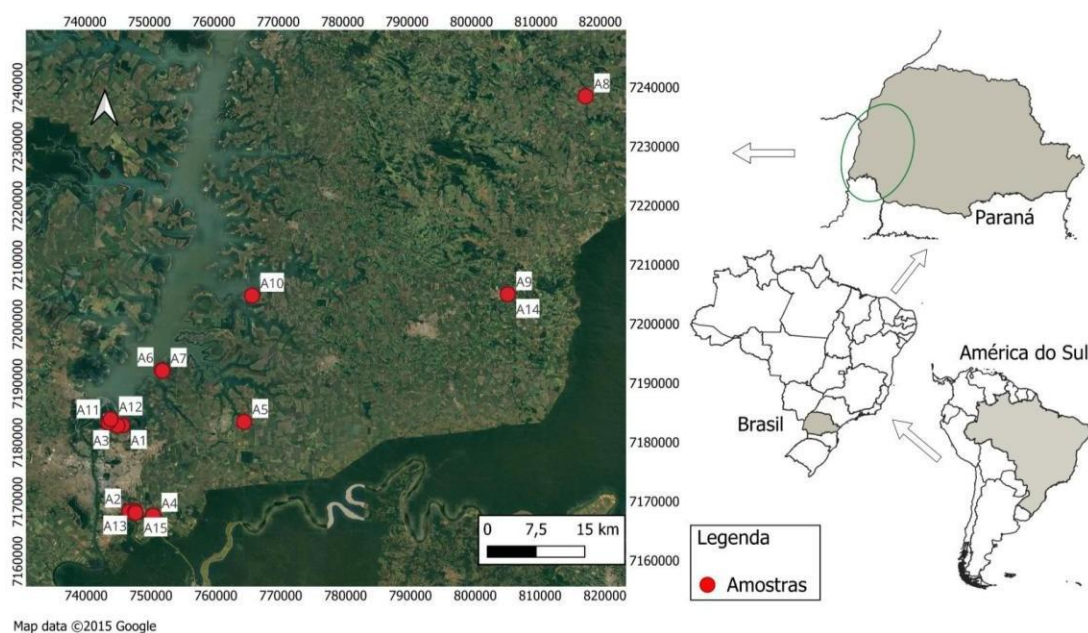


Figura 1 - Localização das amostras de méis coletadas neste estudo obtidas pelo Software QGIS QGIS 3.32.2.

Foram coletadas 45 amostras de méis na região Oeste do Paraná em 15 diferentes apiários

durante o ano de 2022. Foram realizadas três coletas, sendo elas após a florada da soja safra 2021/2022 (coleta 1 - janeiro/2022), a safra de milho (coleta 2 - maio/2022), e o período de vazio sanitário (coleta 3 - dezembro/2022). Esta última safra foi compreendida pelo vazio sanitário até depois do plantio da soja safra 2022/2023, isto pois, naquele período houve uma escassez de água e recursos florais fazendo com que as abelhas não produzirem mel suficiente para ser retirado. A safra de mel do ano de 2021/2022 ficou comprometida por conta de um vendaval que atingiu a região e destruiu as plantações, e dessa forma ocorreu um atraso no calendário agrícola vigente.

As amostras foram coletadas pelos próprios apicultores, de modo que um mesmo apiário, constituído como um ponto amostral, possuía várias colmeias. Assim, os méis das várias colmeias eram retirados, centrifugados, e *blends* de 500 gramas do mel de cada apiário é que foram destinados para análise. Após o envase, esses méis foram levados para o Laboratório de Estudos Interdisciplinares em Meio Ambiente e Alimentos (LEIMAA), situado no Parque Tecnológico Itaipu, onde foram armazenados em temperatura ambiente e ao abrigo de insolação/ luz direta até o momento das análises.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MÉIS

2.3.1 Análises físico-químicas

2.3.1.1 Acidez livre

A acidez livre foi determinada usando titulação potenciométrica de acordo com o método oficial 962.19 (AOAC, 2016). Empregou-se uma solução padronizada de NaOH, 0,0500 mol.L, adicionada a uma solução contendo 10 g de mel dissolvido em 75 mL de água ultrapura até um pH de 8,5. Uma titulação substituindo a amostra de mel por água ultrapura foi usada como branco. Os resultados foram expressos em miliequivalentes (Meq) de ácido.kg de mel.

2.3.1.2 Medição de pH

O pH foi determinado em uma solução de 10 g de mel em 75 mL de água destilada com um medidor de pH Ohaus, Starter 3100M, de acordo com o método oficial 962.19 (AOAC, 2016).

2.3.1.3 Condutividade Elétrica

O valor da condutividade elétrica de uma solução aquosa de 20% (m/v) de amostras de mel foi determinado usando um medidor de condutividade (Ohaus, Starter 3100M) com um eletrodo previamente calibrado a 25 °C de acordo com o método conforme AOAC (2016).

2.3.1.4 Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) foi medido usando o refratômetro (Instruterm, MA-800). As amostras de mel foram colocadas no prisma após a estabilização da temperatura da

amostra em 20 °C de acordo com o método citado na AOAC (2016).

2.3.1.5 Atividade diastásica

Para a determinação da atividade da diastase, 5 g de cada amostra de mel foram pesadas e adicionadas a 1,5 mL de NaCl 0,5 mol/L diluídas com água destilada em um volume total de 25 mL. Uma alíquota de 10 mL desta solução foi adicionada a 5 mL de solução padrão de amido preparada pela adição de 1 g de fécula de batata em 100 mL de água destilada. Essa mistura foi incubada a 40 °C por 15 minutos em banho termostático. Alíquotas de 0,5 mL dessa solução foram retiradas a cada 5 min e adicionadas em tubos já contendo 0,5 mL de solução de iodo 0,7 mol/L, (0,18 g de iodo ressublimado e 20 g de iodeto de potássio para 1 L de água destilada). A absorvância em Espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201) da mistura foi medida a 660 nm. Este procedimento foi repetido até que a absorvância da solução fosse <0,2. A curva de absorção *versus* tempo (min) foi preparada e o tempo necessário para atingir a absorvância de 0,235 foi obtido. A atividade da diástase correspondeu a 300/tempo para atingir uma absorvância de 0,235. Seu valor foi expresso em unidades Gothe/g de mel conforme AOAC 958.09 (AOAC, 2016).

2.3.1.5 Hidroximetilfurfural (HMF) e furfural

Para as análises de HMF e furfural, 2 g de cada amostra de mel foi solubilizada em 10 mL de água ultrapura correspondendo à 20% (m/v). Uma alíquota de 500 µL desta solução foi colocada em um frasco volumétrico e uma quantidade de 100 µL da solução FDCA (Ácido 2,5 furandicarboxílico) de padrão interno foi adicionada à solução. O vial foi então preenchido com 1000 µL de água ultrapura, que correspondeu a uma solução composta por 10% (m/v) de mel. Após a homogeneização, as amostras foram filtradas usando filtro hidrofílico de politetrafluoretileno (PTFE) de 0,22 µm e foram então submetidas à análise por HPLC. As amostras foram analisadas em triplicatas e os resultados obtidos tabulados, tal como citado em Godoy et al (2022).

2.3.2 Análise de compostos fenólicos e capacidade antioxidante

2.3.2.1 Composto Fenólicos

A análise de compostos fenólicos totais baseou-se na detecção da presença de substâncias reduzidas pelo reagente de Folin-Ciocalteu, a partir de adaptações da metodologia de Singleton e Rossi (1965). O reagente de Folin-Ciocalteu foi diluído em proporção 1:1 (v/v). A solução saturada de carbonato de sódio foi produzida através da diluição de 35 g do sal em 100 mL de água destilada, utilizando apenas o sobrenadante. O preparo da curva analítica foi realizado a partir da dissolução de 22,12 mg de ácido gálico em 100 mL, em uma concentração final de 200 mg/L.

A partir desta solução, diluições foram realizadas, e os pontos da curva foram preparados

nas concentrações entre 25 mg L e 150 mg L. Uma alíquota de 250 µL de cada solução padrão foi transferida para um tubo de ensaio, seguido da adição de 250 µL do reagente Folin-Ciocalteudiluído, 500 µL da solução saturada de Na₂CO₃ e 4 mL de água destilada. Os tubos foram agitados e mantidos em temperatura ambiente sob proteção de luz por 25 minutos, e, na sequência, centrifugados por 10 minutos a 3000 rpm. Para o branco da análise substituiu-se o volume da solução padrão por água destilada, e o mesmo volume foi utilizado de amostra de mel a 10% (v/v). A determinação da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201) a 725 nm.

2.3.2.2 Flavonoides

A detecção de flavonoides consistiu na reação de complexação do antioxidante com o metal alumínio baseando-se na formação de um complexo colorido. Para essa análise adaptou-se o método proposto por Dowd (1959), descrito a seguir. A solução de cloreto de alumínio 5% foi preparada pela diluição de 5 g do sal em 100 mL de metanol, sob agitação magnética, utilizando somente o sobrenadante. O preparo da curva analítica foi realizado pela dissolução de 10 mg de quercetina em uma mistura de 2 mL de metanol e 3 mL de acetona, perfazendo uma concentração final de 2000 mg L.

A partir dessa solução, diluições foram realizadas e 6 pontos da curva foram preparados nas concentrações entre 10 e 100 mg L. Transferiu-se 500 µL de cada solução padrão para um tubo de ensaio, seguido da adição de 250 µL de AlCl₃ 5% e 4,25 mL de metanol. Os tubos foram homogeneizados e mantidos à temperatura ambiente sob proteção de luz por 30 minutos. Foi preparado um branco substituindo a alíquota da solução padrão por metanol, e o mesmo volume foi utilizado de amostra de mel. A leitura de absorbância foi determinada pelo espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201) a 425 nm.

2.3.2.3 DPPH - 2,2-difenil-1-picrilhidrazila

O ensaio da captura do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazila (DPPH) foi realizado através da reação de oxidação do DPPH com a amostra analisada. O potencial antioxidante da amostra é proporcional ao descoloramento da solução de DPPH, apresentando uma faixa de mudança de cor púrpura ao amarelo. A metodologia utilizada foi baseada na proposta por Kirigaya et al. (1971), descrita a seguir.

A solução de DPPH foi obtida a partir da dissolução de 4,7 mg do composto químico em um balão de 100 mL completado com metanol. Pipetou-se 100 µL da solução 10% da amostra de mel nos tubos de ensaio, seguidos pela adição de 4 mL da solução de DPPH. Os tubos em triplicata foram homogeneizados e mantidos à temperatura ambiente por 30 minutos. Para o branco analítico utilizou-se apenas metanol. Toda a análise foi feita sob proteção de luz. A leitura da absorbância foi

feita pelo espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201) a 517 nm, e os resultados foram apresentados por meio de curva analítica.

2.3.2.4 Atividade antioxidante pelo método ABTS

A avaliação da atividade antioxidante da amostra foi analisada pelo método envolvendo o radical 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS), seguindo a metodologia descrita por Rice-Evans e Miller (1994), com adaptações. Para desenvolver a prática é necessário gerar a espécie estável ABTS⁺⁺, feita pela oxidação do composto ABTS.

A solução de persulfato de potássio 2,45 mmol L⁻¹ foi produzida pela dissolução de 33,1 mg do sal em água destilada utilizando um balão volumétrico de 50 mL com volume completado com o solvente. Para a solução tampão fosfato 5 mmol L⁻¹ de pH 7,4 foi dissolvido 870,9 mg de fosfato bibásico de potássio e 680,6 mg de fosfato monobásico de potássio em um balão volumétrico de 1000 mL com água destilada, o pH foi aferido com o auxílio de um pHmetro. O cátion radicalar ABTS⁺⁺ foi preparado pela diluição de 10 mg de ABTS em 2,6 mL da solução de persulfato de potássio 2,45 mmol L e reservada por 16 horas sob proteção de luz para depois ser diluída com a solução tampão fosfato até obter uma absorbância entre 0,680 e 0,720 medida no espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201) a 734 nm.

O preparo da curva analítica foi realizado pela dissolução de 0,025 g de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) dissolvido em etanol em um balão de 50 mL até completar seu volume, com concentração final de 2000 mmol L. A partir dessa solução, diluições foram realizadas e 6 pontos da curva foram preparados nas concentrações entre 100 e 1500 µmol L⁻¹. Uma alíquota de 2 mL da solução do cátion radicalar ABTS⁺⁺ foi transferida para tubos de ensaio seguida da adição de 20 µL das soluções padrão Trolox. Os tubos foram homogeneizados e mantidos à temperatura ambiente e sob proteção da luz por 6 min. Foi preparado um branco substituindo a alíquota da solução padrão pela solução tampão fosfato, e o mesmo volume foi utilizado de amostra de suco de uva integral diluído. A leitura de absorbância foi determinada pelo espectrofotômetro UV-Vis a 734 nm.

2.3.2.5 Poder de redução pelo ferricianeto de potássio

A análise do poder de redução utilizando ferricianeto de potássio está relacionada com a capacidade de reduzir o íon Fe³⁺ para Fe²⁺. Para essa análise utilizou-se a metodologia de Berker et al. (2007). A solução de ferricianeto de potássio 1% (m/v) foi preparada pela diluição de 2 g do sal em 2 mL de solução HCl 1 mol L dissolvidos em água destilada em um balão volumétrico de 200 mL até completar o seu volume. O ácido tricloroacético foi diluído a uma solução de 10% (m/v) em água destilada. Para a solução tampão fosfato dissolveu-se 1,36 g de fosfato monobásico de potássio e 1,74 g de fosfato dibásico de potássio em água destilada em um balão volumétrico de 200 mL. A

solução de cloreto férrico foi produzida pela dissolução de 0,10 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ em 1 mL de solução de HCl 1 mol L levados para um balão volumétrico de 100 mL completado com água destilada.

A construção da curva analítica foi feita através de 6 níveis de concentração partidos da diluição da solução padrão de ácido gálico 200 mg L, igual ao descrito em compostos fenólicos. Adicionou-se 1 mL da solução padrão a tubos de ensaio, seguido de 2,5 mL de solução tampão fosfato 50 mmol L e 2,5 mL de solução de ferricianeto de potássio. Os tubos foram levados a banho de aquecimento a 50 °C por 20 minutos e logo depois, adicionou-se 2,5 mL de solução de ácido tricloroacético 10% (m/v) e levou-se os tubos para centrifugação em 3000 rpm por 10 minutos onde retirou-se 2,5 mL do sobrenadante e transferiu para outros tubos para que fosse adicionado 2,5 mL de água destilada e 0,5 mL de solução de cloreto férrico. Foi preparado um branco substituindo a alíquota da solução padrão por água destilada, e o mesmo volume foi utilizado de amostra de mel. A leitura de absorbância foi feita imediatamente pelo espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Evolution 201) a 700 nm.

2.4 ANÁLISE PALINOLÓGICA

As análises melissopalínológicas foram realizadas no Laboratório de Pesquisa Multidisciplinar, *Campus* Senador Helvídio Nunes de Barros, da Universidade Federal do Piauí. Para cada amostra foram preparadas lâminas de mel, em triplicata e a fresco, conforme o protocolo adaptado de Louveaux, Maurizio e Vorwohl (1978): 10 g de mel solubilizada em 10 mL de água destilada, posteriormente centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos. O líquido sobrenadante foi descartado e o sedimento de cada tubo de ensaio foi corado com fucsina básica e despejado nas lâminas. Para a fixação do material, utilizou-se gelatina glicerinada. Foi utilizado o *software* ZEN core 2.0 vinculado a uma câmera de captura de imagens acoplada a microscópio óptico, para as medições dos diâmetros polar e equatorial de até 25 grãos de pólen de cada tipo polínico (*Glycine max* (soja) e *Zea mays* (milho) presentes nas amostras. Dessa maneira, foi possível estabelecer a forma e o tamanho dos grãos de pólen, o que permitiu a identificação dos tipos polínicos por meio da comparação com o material descrito na Base de Dados Palinológicos (PalDat).

Para a análise da predominância, foram contados todos os grãos presentes nas amostras e distribuiu-se os tipos *Glycine max* e *Zea mays* quantitativamente nas categorias propostas por Louveaux, Maurizio e Vorwohl (1978): pólen dominante (PD > 45% do total de grãos), pólen acessório (PA 16 a 45%), pólen isolado importante (PII - 3 a 15%) e pólen isolado ocasional (PIO < 3%).

2.5 ANÁLISES DE DADOS

2.5.1. Análise de paisagem

As variáveis de paisagem foram obtidas com utilização do programa QGIS 3.28.11 (QGIS Association, 2023), onde se gerou um mapa de usos de solo através de *shapefiles* disponibilizados pelo projeto MapBiomias Mata Atlântica Trinacional <<https://bosqueatlantico.mapbiomas.org/pt/>>, referente ao ano de 2022. A paisagem foi caracterizada de acordo com as categorias previamente disponíveis na mesma base de dados (códigos de legenda disponível em <https://bosqueatlantico.mapbiomas.org/en/legend-codes/>). As variáveis de uso de terra de interesse eram duas, "formações florestais" e "cultivos anuais". A quantificação das duas variáveis foi realizada em *buffers* de 4 km de raio construídos a partir de cada um dos pontos amostrais. O tamanho do *buffer* foi definido a partir de uma estimativa da distância de forrageamento estimada para as abelhas *Apis mellifera* L., ainda que tais estimativas sejam muito discrepantes (Visscher&Seeley, 1982). Quando se considera que alguns trabalhos trazem que as abelhas *A. mellifera* apresentam uma distância média de forrageamento a partir do ninho inferior a 1 km (Waddington et al. 1994), próximo a 1,5 km (Steffan-Dewenter& Kuhn, 2003) ou 2 Km (Pahl et al.,2011), enquanto outros reportam valores próximos a 5 km (Visscher&Seeley, 1982; Southwick&Buchmann, 1995), 10 km (Beekman&Ratniecks, 2000) ou mesmo superiores (Eckert, 1933), avaliamos que a distância escolhida seria capaz de representar tanto a amplitude relatada em literatura quando o hábito que as abelhas têm de forragearem mais fortemente em recursos próximos ao ninho, hipótese lançada já há muito tempo (Ribbands, 1951; Couvillon et al., 2014).

2.5.2. Autocorrelação espacial

Considerando a possibilidade de haver autocorrelação espacial nos dados (i.e. amostras mais parecidas simplesmente por virem de apiários mais próximos), construímos uma variável espacial através de uma análise de coordenadas principais de matrizes vizinhas (PCNM), a partir das coordenadas geográficas de cada um dos apiários, utilizando a distância máxima entre eles como critério de truncamento (Dray et al., 2006). Entendemos que a necessidade de considerar o componente puramente espacial torna-se particularmente importante considerando eventuais similaridades florísticas no pasto apícola em áreas mais próximas.

2.5.3. Análise estatística

Medidas extremas (*outliers*) em cada uma das variáveis físico-químicas e relacionadas aos antioxidantes/ compostos bioativos foram inspecionados diretamente em gráficos de box-plot, considerando a distância interquartilica, e em gráficos Q-Q (visando, neste último caso, à detecção de desvios severos de normalidade que pudessem comprometer a análise de PCA). No caso da PCA, quando um outlier era encontrado, a medida extrema era substituída pela média daquela variável, como forma a se evitar a perda de dados para todaa amostra em questão.

Utilizou-se uma análise de componentes principais (PCA) para redução da dimensionalidade das variáveis relacionadas aos antioxidantes/compostos bioativos, utilizando-se a matriz de covariância. Importante ressaltar que como as variáveis foram medidas em unidades com escalas de variação completamente diferentes, procedeu-se à transformação Z das variáveis, com o objetivo de trazê-las a uma mesma unidade de variação (variáveis de média igual a zero e desvio padrão igual a um). No caso das variáveis físico-químicas, considerando que uma delas deveria, no nosso entendimento, ser considerada como categórica (furfural), utilizou-se uma análise de coordenadas principais (PCoA), a partir de uma matriz de similaridade construída pelo índice de Gower, utilizando a correção de Cailliez (da Silva et al., 2022). Os escores dos pontos amostrais para o primeiro componente da PCA (PCA1) e para a primeira coordenada da PCoA (PCoA1) foram retidos e utilizados como variáveis capazes de medir a similaridade dos pontos amostrados quanto, respectivamente, aos compostos bioativos e variáveis físico-químicas dos méis neles coletados. Importante ressaltar que, no banco de dados, as amostras estavam individualizadas tanto em termos do apiário de origem quanto das três coletas que foram realizadas em cada um dos locais.

Assim, teríamos duas variáveis resposta, (i) PCA1 (correspondendo aos compostos bioativos) e (ii) PCoA1 (variáveis físico-químicas), além de quatro variáveis preditoras de interesse, (i) coleta, (ii) percentual de floresta e (iii) percentual de áreas de monocultura nos *buffers*, além (iv) da primeira coordenada da PCNM (PCNM1, a variável geográfica/ puramente espacial).

Considerando que são quatro preditores selecionados, uma abordagem de seleção de modelos, utilizando o critério de informação de Akaike (AIC) (Burnham & Anderson, 2002), foi utilizada para definição do melhor modelo entre os quinze modelos possíveis (todas as combinações possíveis dados os quatro preditores) capazes de explicar a variação de cada variável resposta. Como forma de reduzir o risco de multicolinearidade, utilizamos os fatores de inflação de variância (VIF) de cada um dos modelos (O'Brien, 2007). Valores de VIF menores do que 5 (Mason et al. 1989) foram considerados como indicativos de que a multicolinearidade, no caso das variáveis quantitativas, não seria um problema de fato para o modelo em questão.

Selecionado o modelo, procedeu-se às análises de modelos lineares (GLM) apropriadas, a depender da seleção de modelos, com inspeção da normalidade dos resíduos de cada regressão através do teste de Shapiro-Wilk.

Todas as análises foram realizadas em ambiente R (R Core Team, 2023), pacotes *ape* (Paradis & Schliep, 2019), *car* (Fox & Weisberg, 2019), *lme4* (Bates et al., 2015), *lmtest* (Zeileis & Hothorn, 2002), *RVAideMemoire* (Herve, 2023) e *vegan* (Oksanen et al., 2022).

3. RESULTADOS

3.1 Análises Físico-Químicas

A Tabela 1 apresenta os resultados referentes às propriedades físico-químicas de méis em três períodos agrícolas distintos, referente ao ano de 2022.

Tabela 1 – Resultados das análises físico-química em méis de *Apis mellifera* da região Oeste do Paraná coletados em três diferentes safras no ano de 2022.

Análises	Resultados (mínimo – máximo)	Legislação
Acidez livre (Meq/kg)	26 - 40	<300 ^(1,2)
Condutividade Elétrica (uS/cm)	3×10^{-4} - 6.10^{-4}	$2,0 \times 10^{-4}$ a $8,0 \times 10^{-4}$ ^(1,2)
pH	3,20 - 4,60	3,00 a 4,70 ^(1,2)
Teor de Umidade (%)	19 - 20	<20 ^(1,2)
Determinação de HMF (mg/Kg)	3,71 - 62,32	<60 ^(1,2)
Determinação de Furfural (mg/Kg)	1,72 - 2,5	n.d. ^(1,2)

n.d.= não determinado; Meq/kg=miliequivalente por quilograma; mg/kg=miligramma por quilograma; uS/cm=microsiemens por centímetro; pH=potencial hidrogeniônico – 1= Codex, 2023; 2 = MAPA, 2000.

Os valores obtidos para as propriedades físico-químicas contribuem para a compreensão dos resultados alcançados nas análises e demonstram, com relação a análise de acidez e pH, que os valores foram similares aos obtidos na literatura (Gregório, 2021; Santo et al., 2018, Molan, 2023). A acidez em méis ocorre devido ao processo natural de fermentação e está relacionada à sua eficácia antibacteriana, o que ocorre devido à presença de certos ácidos orgânicos e à ação da enzima glicose oxidase, que origina o ácido glucônico, um agente antibacteriano extremamente potente (Abadio et al., 2010). A umidade é considerada outro importante parâmetro de qualidade utilizado para determinar o grau de maturação do mel (Rodriguez et al., 2004; Mouhoubi-Tafinine et al., 2018; Da Silva et al., 2022), em que méis com alto teor de água pode ser resultado de colheita prematura. A umidade afeta a densidade, sabor, cor, cristalização e fermentação do mel. Méis de abelhas *Apis mellifera* são considerados para consumo quando seu teor de umidade é inferior a 20% (Royo, 2022; CODEX, 2000). As amostras analisadas nesse estudo ficaram dentro do limite recomendado, que seria menor ou igual a 20%, representando o estágio de maturação do mel (Tabela 1).

Considerando o teor de HMF, 3 (três amostras- 20%) apresentaram valores inferiores ao limite máximo permitido, de 60 mg /Kg (Codex, 2023; MAPA, 2000). O aumento do teor de HMF

ocorre devido ao tratamento térmico e/ou armazenamento excessivo (Godoy, 2022; Da Silva et al., 2016). Teores de HMF inferiores a 10 mg/kg indicam amostras de méis frescos (Codex, 2023; MAPA, 2000), resultado observado em 12 (dez) amostras (80%), referindo-se a amostras de alta qualidade. Todas as amostras (Tabela 1) estavam em conformidade com a Instrução Normativa Brasileira nº 11/2000, com relação a norma Codex Alimentarius (2000), que permite que esse valor chegue a 80 mg/ Kg em países tropicais.

Com relação ao Furufural (FF) nenhuma amostra apresentou valores maiores de 3 mg/kg, demonstrando apenas o limite de detecção proposto pelo método, levando em consideração que o Furufural é obtido por meio da decomposição do Hidroximetilfurural.

3.2 Análise de antioxidantes

A Tabela 2 apresenta os resultados de fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante, considerando a amostragem realizada em três coletas distintas, em três períodos agrícolas, referente ao ano de 2022.

Tabela 2 – Resultados das análises de antioxidantes em méis de *Apis mellifera* da região Oeste do Paraná coletados em três diferentes safras no ano de 2022.

Análises	Resultados (mínimo – máximo)	Literatura
Fenólicos (mg EAG 100 g ⁻¹)	52 - 100	26 a 100 ⁽¹⁾
Flavonoides (mg EAG 100g ⁻¹)	3.10 ⁻⁴ - 6.10 ⁻⁴	2,0.10 ⁻⁴ a 8,0.10 ⁻⁴ ^(2,3,4,5)
DPPH (mMol et 100g ⁻¹)	2,66 - 5,62	25,45 a 294,26 ^(7,8)
ABTS (mMol et 100g ⁻¹)	0,83 - 2,89	<20 ^(8,9)
Ferricianeto (mg EAG100 g ⁻¹)	40 - 179	<60 ^(2,3)

mg EAG 100⁻¹= miligrama por extrato de ácido gálico; mMol= milimol. 1 = Silva et al.,2016, 2 = Nascimento et al., 2018; 3 = Bueno-Costa et al., 2016; 4 = Lianda et al., 2012; 5 = Kadri et a., 1 2016; 6 = Almeida et al., 2016; 7 = Galhardo, 2021; Jaafar, 2017; 8 = Shahidi, 2015.

Os compostos fenólicos presentes no mel, principalmente os ácidos benzoico e cinâmico e seus ésteres e flavonoides, derivam do néctar floral, pólen e própolis (Silva et al., 2016), foram os mais abundantes encontrados nas amostras de mel analisadas.

Com relação ao teor de flavonoides, no estudo de Nascimento et al (2018) o conteúdo total de flavonoides (TFC) foi em média 0,70 ± 0,67 mg EAG 100⁻¹ g de mel. Em méis do Sul do Brasil variou entre 2,97 e 10,46 mg EAG 100 g⁻¹ (Bueno-Costa et al, 2016). Kadri et al (2016), e Lianda et al (2012), no entanto, relataram menores valores em méis do Sudeste do Brasil (3,30 e 3,63 e 0,00 e 4,27 mg EAG/100g, respectivamente).

Considerando os valores de DPPH encontrados, tem referência a faixa de 9,13 – 41,76 mMol EAG 100g⁻¹ para mês do Norte do Brasil, relatada por Almeida et al (2016); Galhardo (2021). A capacidade antioxidante também foi avaliada pela capacidade de eliminação de radicais livres (ABTS) como um fator determinante e obtivemos valores tal como cita Jaafar (2017); Shahidi (2015), demonstrando a capacidade que a amostra tem de descolorir o radical ABTS.

3.3 Análise Palinológica

Com relação a análise palinológica, por meio dos resultados obtidos é possível ter uma base da influência das culturas de milho e soja, em relação às plantas visitadas pelas abelhas. Por meio da Figura 2-4 é possível estabelecer uma relação das plantas visitadas com as rotações de culturas da área de estudo.

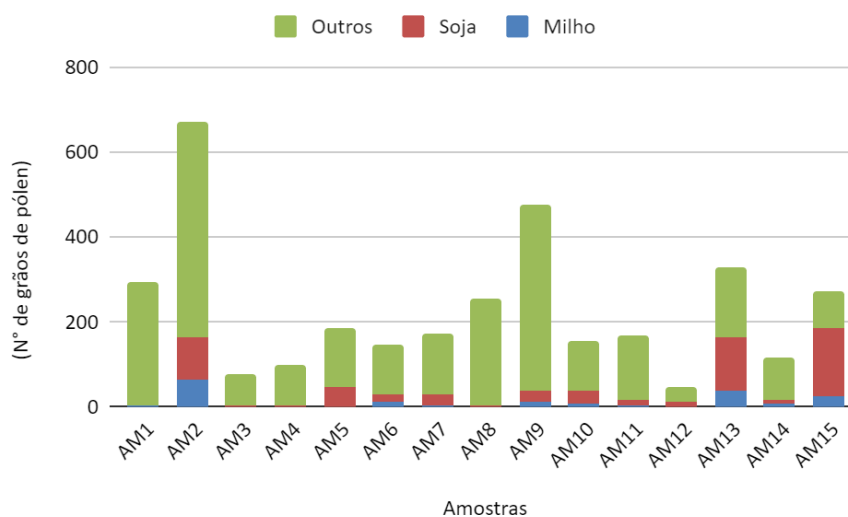


Figura 2 – Análise do pólen presente nas amostras da Coleta 1.

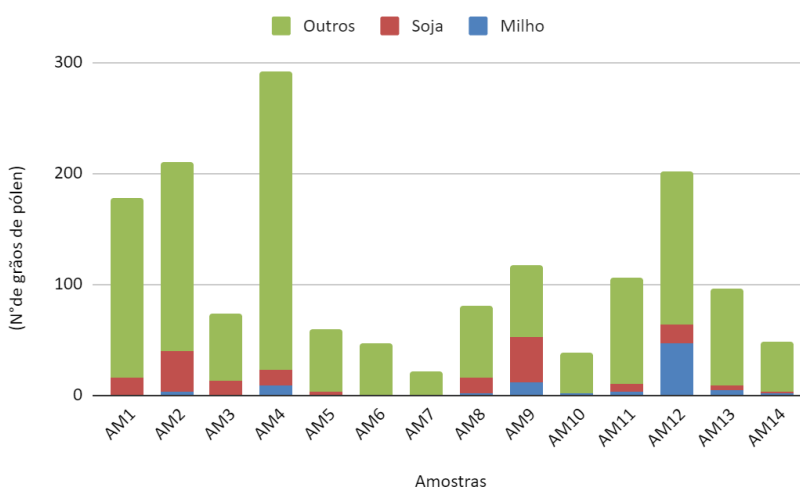


Figura 3 – Análise de pólen presente nas amostras da Coleta 2.

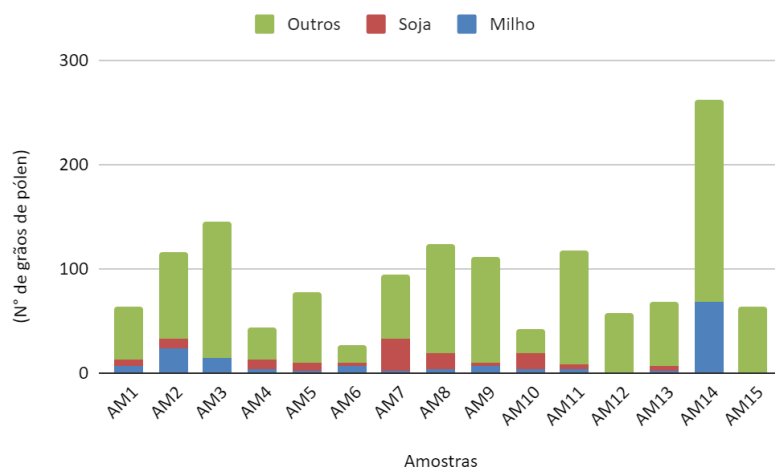


Figura 4 - Análise de pólen presente nas amostras da Coleta 3.

Ao analisar individualmente as amostras conforme as coletas, percebe-se uma baixa presença de pólen referente ao milho e à soja, portanto não são pólenes determinantes e de grande representatividade nas plantas visitadas pelas abelhas. Em algumas amostras nenhum dos dois pólenes foi encontrado, em outras uma quantidade bastante pequena, que pode ter relação com ação de ventos e até mesmo chuva que promoveu o aparecimento dos pólenes em questão.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

No caso da PCoA, que levou em consideração as variáveis relacionadas aos físico-químicos, as duas primeiras coordenadas retiveram mais de 43% da variação (PCoA1: 25,23%; PCoA2: 17,93%), conforme a Figura 5. Os dois primeiros componentes da PCA retiveram mais de 63% da variação nos dados (PC1: 33,77; PC2: 30,57%) conforme a Figura 6. Os maiores *loadings* em relação ao PC1, i.e., a contribuição de cada uma das variáveis originais para o primeiro componente, estão associados, respectivamente, à ABTS (0,617) e compostos fenólicos (0,596). A ordenação das amostras, em termos das variáveis físico-químicas e daquelas relacionadas aos compostos bioativos, podem ser encontradas, respectivamente, nas Figs. 5 e 6.

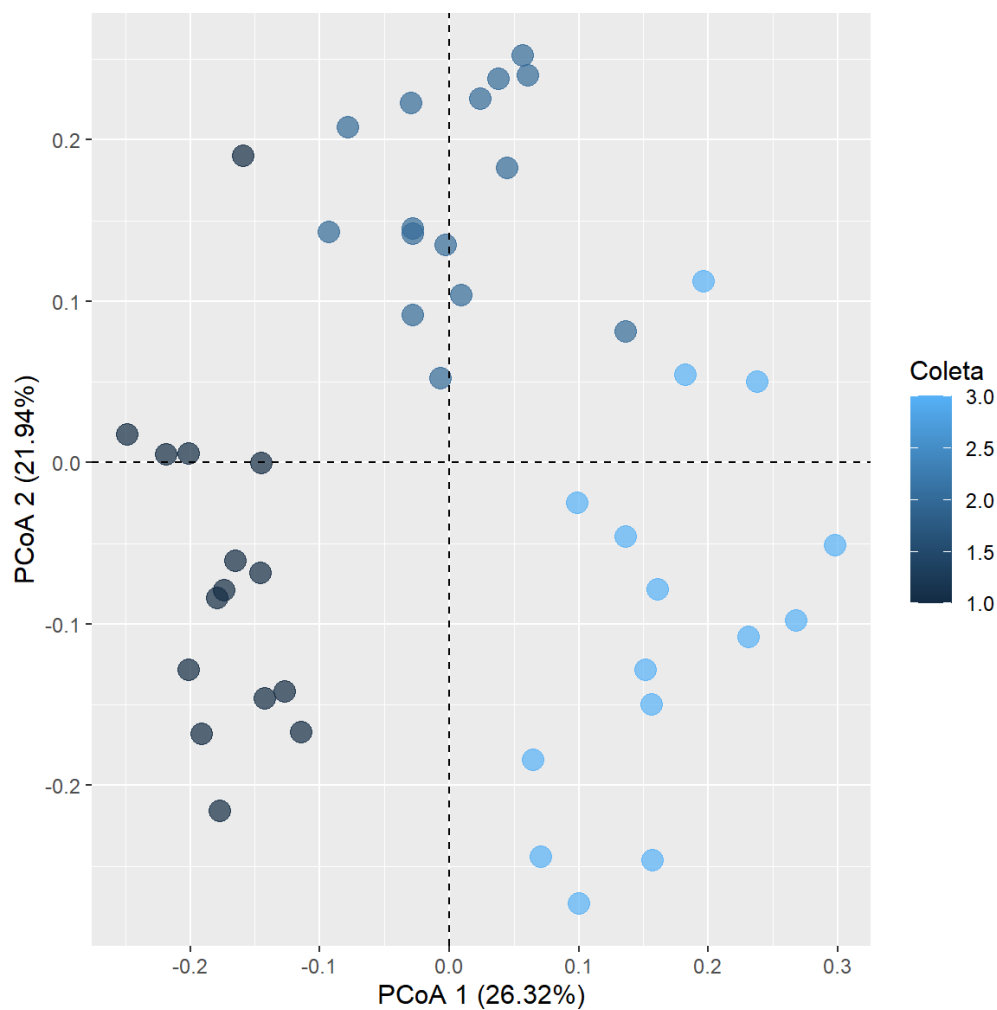


Figura 5. Análise de coordenadas principais (PCoA) de amostras de méis coletadas no oeste do Paraná, considerando a variação de suas características físico-químicas. As cores nos círculos destacam a época da coleta (azul claro: após floração da soja; azul intermediário: florada do milho; azul escuro: vazio sanitário).

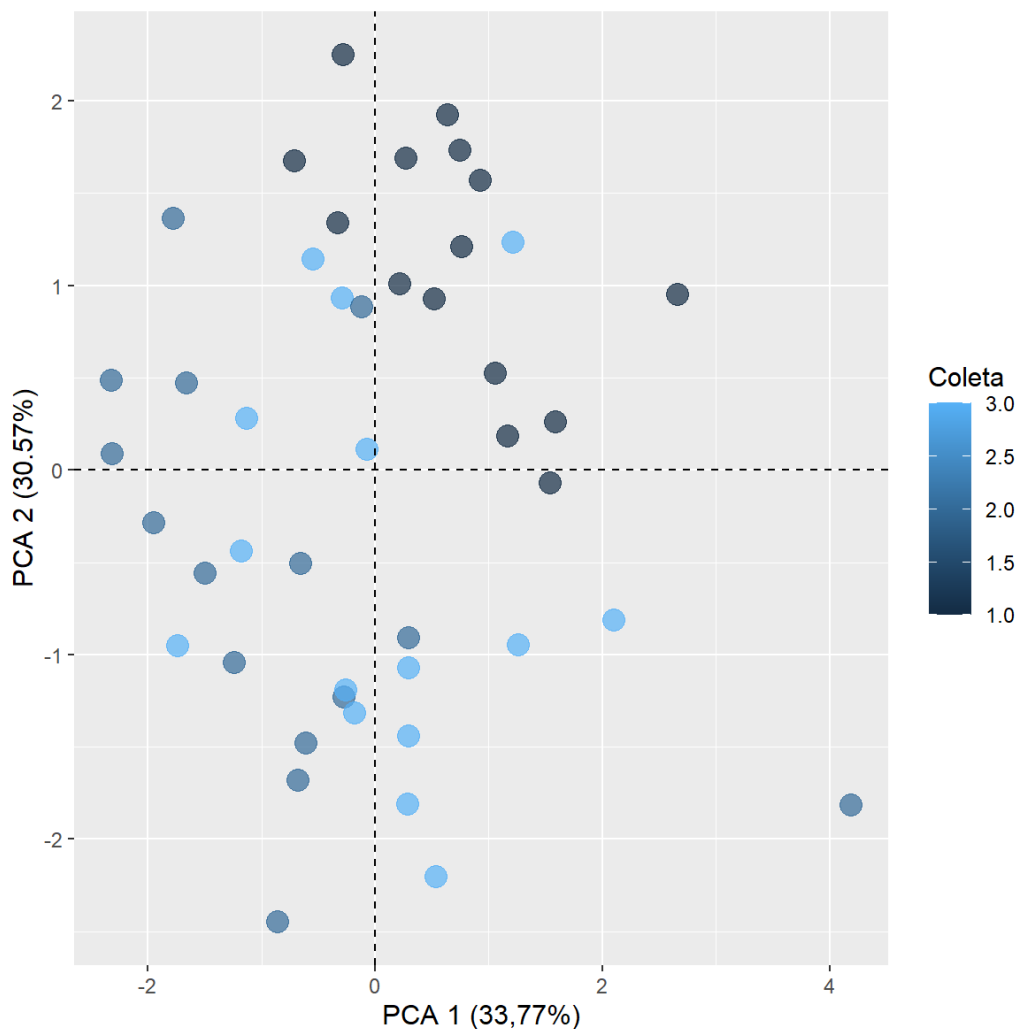


Figura 6. Análise de componentes principais (PCA) de amostras de méis coletadas no oeste do Paraná, considerando a variação dos compostos bioativos das amostras. As cores nos círculos destacam a época da coleta (azul claro: após floração da soja; azul intermediário: florada do milho; azul escuro: vazio sanitário).

Uma questão interessante, também, é que os escores das amostras para PC1 e PCoA1 não estão correlacionados ($r = -0,237$; $p = 0,116$), o que evidencia uma ordenação completamente diferente das amostras em termos de suas características físico-químicas e de compostos bioativos.

A seleção de modelos mostrou que o melhor modelo para explicar a variação nas características dos méis quanto aos seus compostos bioativos foi aquele que considerava a época de coleta e a variável espacial (o PCNM1) (ver Tabela 3). No caso das variáveis físico-químicas, o modelo de menor AIC foi aquele que incluía o percentual de floresta, percentual de monocultura e a variável espacial (o PCNM1) (ver Tabela 4).

Tabela 3. Modelos preditores para análise da variação dos compostos bioativos em méis coletados na região oeste do Paraná (escores do PC1). k: número de parâmetros do modelo; AICi: valor de verossimilhança do modelo segundo critério de informação de Akaike.

Variáveis	k	AICi
Coleta+PCNM1	2	106,75
Coleta+percentual de floresta+percentual de monocultura+PCNM1	4	106,77
Coleta+percentual de floresta+PCNM1	3	107,08
Coleta+percentual de floresta+percentual de monocultura	3	107,49
Coleta	1	107,60
Coleta+percentual de monocultura+PCNM1	3	108,75
Coleta+percentual de monocultura	2	109,18
Coleta+percentual de floresta	2	109,19
PCNM1	1	146,82
Percentual de monocultura	1	147,75
Percentual de floresta	1	147,75
Percentual de floresta+PCNM1	2	148,20
Percentual de floresta+percentual de monocultura	2	148,35
Percentual de monocultura+PCNM1	2	148,82
Percentual de floresta+percentual de monocultura+PCNM1	3	149,36

Tabela 4. Modelos preditores para análise da variação das características físico-químicas de méis coletados na região oeste do Paraná (escores da PCoA1). k: número de parâmetros do modelo; AICi: valor de verossimilhança do modelo segundo critério de informação de Akaike.

Variáveis	k	AICi
Percentual de floresta+percentual de monocultura+PCNM1	3	-37,51
Percentual de floresta+percentual de monocultura	2	-38,64
Percentual de monocultura+PCNM1	2	-39,04
Percentual de floresta+PCNM1	2	-39,46
PCNM1	1	-39,77
Percentual de monocultura	1	-40,17
Percentual de floresta	1	-40,43
Coleta	1	-67,67
Coleta+percentual de floresta+percentual de monocultura+PCNM1	4	-70,05
Coleta+percentual de floresta+percentual de monocultura	3	-70,13
Coleta+PCNM1	2	-70,22
Coleta+percentual de monocultura+PCN1	3	-71,00
Coleta+percentual de monocultura	2	-71,08
Coleta+percentual de floresta	2	-71,65
Coleta+percentual de floresta+PCNM1	3	-71,94

O modelo selecionado como melhor preditor para os compostos bioativos mostrou-se, de fato, capaz de explicar a variação dos méis a partir de tais variáveis ($r^2 = 0,633$; $F_{3,41} = 23,62$; $p = 4,86E-09$). Ou seja, a época de coleta dos méis (safra de soja, safra de milho ou entressafra/ vazio sanitário) e a distância entre os apiários influenciaram significativamente os compostos bioativos

presentes no mel.

Já no caso das variáveis físico-químicas, o modelo escolhido não explica significativamente a ordenação dos méis no espaço multivariado ($r^2 = 0,083$; $F_{3,41} = 1,241$; $p = 0,307$), sugerindo que a estruturação da variação físico-química dos méis não passa por variáveis da paisagem, pela época de coleta nem pela distância entre os apiários.

4. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados apontam para existência da estruturação do perfil de compostos bioativos/ antioxidantes nas amostras, com base na época de coleta a na proximidade entre apiários; por outro lado, não encontramos evidência de estruturação do perfil das variáveis físico-químicas do mel, apontando para questões mais idiossincráticas, relacionadas às práticas do beneficiamento do próprio mel.

Não surpreende que a época de coleta dos méis ao longo do calendário agrícola/ apícola anual tenha influenciado o perfil de antioxidantes. Quando consideramos os resultados das análises melissopalínológicas onde se percebe que os méis apresentaram poucos grãos de pólen de milho e soja, independente da época de coleta, é possível assumir que eventuais diferenças no perfil de antioxidantes estejam principalmente relacionadas às variações na dinâmica da flora apícola. A Floresta Estacional Semidecidual (FES), formação vegetal onde se deu o estudo, é reconhecida pela sazonalidade climática que determina a perda de folhas em indivíduos arbóreos como resposta ao déficit hídrico ou queda de temperatura nos meses mais frios e/ou secos (Veloso et al., 1991). Associada à sazonalidade do clima, encontramos uma marcada sazonalidade nos padrões fenológicos das espécies vegetais (e.g. Morellato & Leitão-Filho, 1992) e alta variação estrutural e florística dessas florestas (do Vale et al., 2009). De qualquer forma, ainda que a hipótese de que tal estruturação sazonal seja bastante forte, com o pico da floração ocorrendo no início da estação chuvosa, tenha sido proposta há muito tempo, alguns estudos mostram uma dinâmica bastante particular em floras locais de FES no Brasil, mesmo casos em que não há sazonalidade marcada na fenologia vegetal em termos de floração (Bencke, 2005; Rubim et al., 2010). Há evidências obtidas em áreas de FES no estado do Paraná apontando, inclusive, um pico de floração no início da estação chuvosa (Mikich & Silva, 2001). Se tal fenômeno também ocorre na região de estudo, é possível assumir um impacto bastante direto desse pico de florescimento de plantas principalmente nos perfis dos méis correspondentes à safra silvestre (dez/2022) e mesmo após o pico de floração da soja (jan/2022). Tem-se, assim, um contexto onde se espera que haja uma variação pronunciada na oferta de recursos florais para as abelhas ao longo do tempo, o que se refletiria nos perfis de compostos bioativos, Bencke (2005), por exemplo, observou haver uma baixa sincronia interespecífica de floração em espécies vegetais de duas áreas de FES no sul do Brasil, o que sugere

que algumas espécies concentrem o pico de florescimento em épocas específicas do ano, o que reforça o cenário proposto. Por fim, em termos da sazonalidade, há que se considerar ainda um possível efeito da sazonalidade climática da região na própria saúde e comportamento das colônias de *Apis mellifera* (Guimarães-Cestaro et al., 2017; Alburaki et al., 2022), com possíveis impactos na dinâmica de produção de mel pelas abelhas.

Não se pode perder de vista, entretanto, a discussão dos resultados em termos da biodiversidade da região, principalmente no que diz respeito às abelhas nativas. Se a flutuação na riqueza e abundância de abelhas nativas responde diretamente à disponibilidade de recursos florais (e.g. Rocha-Filho & Garófalo, 2014), os padrões fenológicos de espécies tão associadas às flores deveriam responder de uma maneira minimamente acoplada. Nessa direção, Margatto et al. (2019), por exemplo, observaram, em um estudo no oeste do Paraná, que o pico de abundância das abelhas das orquídeas (Apidae, Euglossini) também ocorre no início da estação chuvosa. Ou seja, é bem razoável esperar que abelhas melíferas e nativas respondam à variabilidade na dinâmica de floração das plantas da região e, considerando o comportamento altamente generalista de *Apis mellifera* (e.g. Hung et al., 2018), os impactos nas abelhas nativas são esperados na dinâmica de espécies isoladas e mesmo nas redes de interação polinizador-planta (Rabeling et al., 2019). E quando se fala em polinizadores, temos que pensar também nestes organismos como importantes pressões de seleção na fenologia das plantas (Genini et al., 2021). Assim, o mel aparece como importante fonte de monitoramento de tais interações, considerando as possibilidades de análises melissopalínológicas e mesmo das novas abordagens baseadas no estudo de fragmentos de DNA encontrados no mel (e.g. Wirta et al., 2023).

Ainda com relação à variação do perfil de compostos bioativos, percebeu-se que o componente espacial (i.e. a simples localização dos apiários) também fez parte do melhor modelo de explicação. Entendemos que tal resultado também se relaciona com a própria disponibilidade da flora apícola, principalmente em termos qualitativos. Os fragmentos de floresta estacional semidecidual, o principal elemento distintivo do entorno dos apiários, são caracterizados por uma elevada heterogeneidade regional em termos de espécies arbóreas (Lopes, 2010), com a presença de muitas espécies raras e exclusivas, além da alta diversidade beta (Carneiro et al., 2016). Assim, apiários mais próximos dispõem de floras apícolas mais parecidas. Interessante considerar também que a similaridade florística entre fragmentos de FES também é bastante relacionada ao estágio sucessional da comunidade vegetal (Lopes et al., 2012), o que reforça a possibilidade de que áreas mais próximas, compartilhando fragmentos de idades mais parecidas, sejam ainda mais similares em termos florísticos. O que reforça tal interpretação é o fato de que alguns dos apiários de onde obtivemos os méis são muito próximos, havendo, inclusive, uma alta sobreposição entre alguns

buffers. É possível considerar, inclusive, o efeito do plantio de plantas apícolas pelos apicultores, uma prática que reforçaria a similaridade florística entre áreas próximas. Por fim, pensando especificamente na safra de mel relacionada ao vazão sanitário, o florescimento menos previsível de plantas ruderais no solo em descanso, também contribuiria para uma identidade local particular das plantas visitadas pelas abelhas. O resultado aqui encontrado também é interessante em termos de valorizar a importância do contexto espacial na assinatura dos compostos bioativos dos méis, reforçando a importância de estudos que avaliem a possibilidade de indicação geográfica por procedência do mel do oeste paranaense (Tonelli et al., 2022).

Um resultado que julgamos bastante surpreendente é que o percentual de área de floresta nos buffers não apareceu no melhor modelo para explicar a variação nos compostos bioativos, sugerindo que a estruturação dos compostos bioativos em termos da flora apícola se dê mais por questões qualitativas (tipo de recurso) do que quantitativa (quantidades destes recursos). Em um estudo bastante importante realizado na região, Tonelli et al. (2022) observaram uma maior diversidade na flora apícola de uma área de relevante interesse ecológico (matas ciliares no entorno do reservatório da usina de Itaipu) quando comparada à flora de duas outras áreas em um contexto mais simples de paisagem. Considerando que alguns dos apiários de onde provieram as amostras analisadas no presente trabalho se encontravam nesse tipo de ambiente, fica a pergunta de porque o percentual de mata não se mostrou relevante para explicar os resultados. A explicação pode estar no raio de forrageamento das abelhas, considerando a possibilidade de que elas obtenham a maior parte dos recursos - em estando disponíveis - em áreas próximas à colmeia. Ainda que a ecologia espacial do forrageamento das abelhas na escala da paisagem não seja tão bem entendida (Bänsch et al., 2020), a evidência existente permite algumas considerações. Se há trabalhos que relatam que a distância média de forrageamento é de cerca de 1 km ou menos (Waddington et al., 1994), outros sugerem distâncias superiores a 10 km (Beekman&Ratnieks, 2000), o que evidencia a complexidade das escolhas das abelhas em diferentes contextos ambientais, temporais e espaciais (e.g. Garbuzov et al. 2015; Patel et al. 2023). Se assumirmos que as abelhas tendem a otimizar seu forrageamento (Seeley, 1995; Klein et al., 2019), com mudanças flexíveis e gradativas entre estratégias de forrageamento em que há otimização da eficiência de forrageamento em relação à variação ambiental (Stabeinthener&Kovac, 2016), é possível, então, sugerir que recursos disponíveis próximos ao apiário (floração massiva de alguma(s) planta(s)) tenha reduzido o raio de forrageamento das abelhas durante as coletas. Importante deixar claro que a possibilidade é amparada pela literatura, considerando que as abelhas tenderiam a forragear mais fortemente em recursos próximos aos ninhos (Ribbands, 1951; Couvillon et al., 2014). Assim, não se pode excluir a possibilidade que o tamanho de buffer considerado nas análises tenha se mostrado inadequado, por ter se tornado amplo demais no contexto do estudo, não sendo capaz de detectar algum aspecto

quantitativo da disponibilidade de recursos (que eventualmente apareceria em um tamanho de buffer mais restrito). Deve ser considerado também, levando em conta a paisagem onde o estudo foi conduzido, uma eventual possibilidade que os tratos culturais em áreas de soja e milho próximas aos apiários tenham influenciado o forrageamento das abelhas. Há evidência de que agrotóxicos possam influenciar o forrageamento das abelhas mesmo em doses subletais, desorientando as operárias (Bortolotti et al., 2003), o que também pode ter levado as abelhas a se concentrarem em áreas mais próximas às colmeias.

Por fim, não encontramos evidência de estruturação nos parâmetros físico-químicos dos méis, o que sugere um forte componente idiossincrático em tais valores. É esperado que a origem geográfica e/ou botânica do mel tenha reflexos em seus parâmetros físico-químicos; se considerarmos, entretanto, que os resultados da estruturação das análises físico-químicas e de bioativos/ antioxidantes foram bastante divergentes, a considerar o baixo índice de correlação entre os escores respectivamente da PCoA e PCA, fica um pouco fragilizada a interpretação a partir de origem botânica e ou proximidade entre os apiários. É possível considerar, então, se questões relacionadas às práticas de manejo do apiário possam estar atuando nos parâmetros físico-químicos. Práticas de manejo e estocagem do mel são também determinantes em alguns parâmetros físico-químicos (e.g. Acquarone et al., 2007), notadamente a umidade e o HMF (Corbella&Cozzolino, 2006; Valdés-Silverio et al., 2018; Raweh et al., 2023).

5. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DA PESQUISA

Por meio dos estudos realizados, no âmbito da pesquisa realizada, pode-se observar que o percentual de área de floresta nos buffers não apareceu no melhor modelo para explicar a variação nos compostos bioativos, sugerindo que a estruturação dos compostos bioativos em termos da flora apícola se dê mais por questões do que quantitativa. Sendo assim, pode-se considerar, então, que as questões relacionadas às práticas de manejo do apiário possam estar atuando nos parâmetros físico-químicos. Práticas de manejo e estocagem do mel são também determinantes em alguns parâmetros físico-químicos como hidroximetilfurfural (HMF) e umidade, demonstrado por meio das análises, pois ambos estão relacionados a fatores de conservação do mel.

É importante destacar que os dados obtidos podem contribuir para estudos futuros e até mesmo como base para informação e orientação dos produtores da região Oeste do Paraná, para que possam estar atentos a detalhes no processo de obtenção do mel. Vale ainda considerar que o local onde as colmeias estão alocadas é um fator que determina o perfil de antioxidantes.

É extremamente importante que trabalhos como esse possam abrir discussões e trazer orientações aos produtores de mel da região, pois estamos dentro de um grande celeiro do Paraná e

é emergente que seja preservado os ambientes naturais, pois por meio do mel, podemos aferir um bioindicador em termos de qualidade da paisagem apícola e qualidade das colmeias.

AGRADECIMENTOS

À PRPPG-UNILA (Edital 23/2022 – Chamada Interna PROP-CAPES e Edital 90/2022 – Programa Institucional de apoio aos Grupos de Pesquisa da UNILA), ao PPGBN-UNILA (Edital 19/2022 – Concessão de auxílio financeiro para apoio às atividades discentes/ recursos PROAP/CAPES), ao CNPq (Processo: 407444/2023-8), a CAPES, ao Grupo de pesquisa LEIMAA e os apicultores pelas amostras fornecidas.

REFERÊNCIAS

Abadio Finco FDB, Moura LL, Silva IG. Propriedades físicas e químicas do mel de *Apis mellifera*.L. Food SciTechnol. 2010:706–12. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000300022>

Acquarone C, Buera P, Elizalde B. 2007. Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys . Food Chemistry 101. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.058>

Alburaki M, Madella S, Vu P, Corona M. 2022. Influence of honey bee seasonal phenotype and demerging conditions on diet behavior and susceptibility to imidacloprid. Apidologie 53: 12.
Auer W. 2020. *Glycinemax*. In: PalDat - A palynological data base. Disponível em: https://www.paldat.org/pub/Glycine_max/304095. Acesso em 11-ago- 2023.

Almeida, A. M. M., Oliveira, M. B. S., Costa, J. G., Valentim, I. B., & Goulart, M. O. F. (2016). Antioxidant Capacity, physicochemical and floral characterization of honeys From the Northeast of Brazil . Revista Virtual de Química, 8, 57–77. <http://doi.org/10.5935/1984-6835.20160005>

AOAC International Appendix F: Guidelines for Standard Method Performance Requirements, The Association of Official Analytical Chemists , Gaithersburg, (2016).

Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. Journal of Statistical Software, 67: 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Bänsch S, Tschardt T, Ratnieks FLW, Härtel S, Westphal C. 2020. Foraging Of Honey Bees in agricultural and scapes with changing patterns of flower resources . Agriculture, Ecosystems&Environment 291: 106792. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106792>

Bencke CSC. 2005. Estudo da fenologia de espécies arbóreas em uma Floresta Semidecídua no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, RS. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Balhana, Altiva P.; Machado, Brasil P.; Westphalen, Cecília M. 1969. História do Paraná. Curitiba: Grafipar, v. 1.

Beekman M, Ratnieks FLW. 2000. Long-range foraging by the honey-bee , *Apis mellifera* L.

Functional Ecology 14: 490-496. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00443.x>

Bortolotti L, Montanari R, Marcelino J, Medrzycki P, Maini S, Porrini C. 2003. Effects of sublethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of the honey bees. *Bulletin of Insectology* 56: 63-67.

Bueno-Costa, F. M., Zambiasi, R. C., Bohmer, B. W., Chaves, F. C., Silva, W. P., Zanusso, J. T., et al. (2016). Antibacterial and antioxidant activity of honeys from the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Food Science and Toxicology*, 65, 333–340.

Burnham KP, Anderson DR. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information theoretic approach . Springer, New York.

Carneiro MS, Campos CCF, Ramos FN, Santos FAM. Spatial Species turnover maintains high diversity on a tree assemblage of a fragmented tropical landscape. *Ecosphere* 7. <http://doi.org/10.1002/ecs2.1500>

Codex Alimentarius Commission. 2000. The draft revised Codex standard for honey. Food and Agriculture Organization of the United Nations, London, UK.

Codex Stan. (2023). *Revised Codex Standard for Honey. Codex Stan 12-1981, Rev.1 1987, Rev. 2 2001*; World Health Organization, Food and Agriculture Organization of United Nations: Roma, Italia.

Corbella E, Cozzolino D. 2006. Classification Of The flower origin of Uruguay na honeys by chemical and physical characteristics combined with chemometrics. *LWT - Food Science and Technology* 39: 534-539. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.03.011>

Couvillon MJ, Scharch R, Ratnieks FLW. 2014. Waggle dance distances as integrative indicators of seasonal foraging challenges. *PloS ONE* 9: e93495. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093495>

Diethart B. 2005. *Zea mays*. In: PalDat - A palynological data base. https://www.paldat.org/pub/Zea_mays/103254; Acesso em 11-ago-2023.

Da Silva FR, Gonçalves-Souza T, Paterno GB, Provete DB, Vancine MH. 2022. Análises ecológicas no R. Nupeea: Recife, PE, Canal 6: São Paulo. 640 p.

De Melo, A. A. M; Almeida, L. B.; Snacho, M. T. (2018) Composição e propriedades do mel *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 57:1, 5-37. <http://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444>

De Rodríguez, G.O.; de Ferrer, B.S.; Ferrer, A.; Rodríguez, B. 2004. Characterization of honey produced in Venezuela. *Food Chem*, 84, 499–502. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00517-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00517-4)

Da Silva PM, Gauche C, Gonzaga LV, Costa ACO, Fett R (2016) Honey: chemical composition, stability and authenticity . *Food Chem* 196:309–323. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>

Do Vale VC, Schiavini I, Lopes SF, Dias Neto OC, de Oliveira AP, Gusson AE. 2009. Composição florística e estrutura do componente arbóreo em um remanescente primário de floresta estacional

semidecidual em Araguari, Minas Gerais, Brasil. *Hoehnea* 36: 417-429.
<https://doi.org/10.1590/S2236-89062009000300003>

Dray S, Legendre P, Peres-Neto PR. 2006 Spatial Modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). *Ecological Modelling* 196: 483–493.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.015>

Eckert JE. 1933. The flight range of the honey bee. *Journal of Agricultural Research* 47: 257-285.

Ferreira, JV, Schirmann, G. da S., Santos, MLP de los, Zago, AC, Bortolini, VM de S., Rockenbach, R., & Bragança, GCM. 2020. Parâmetros físico-químicos e aceitabilidade de sorvetes desenvolvidos a partir de diferentes leites fermentados de kefir, jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg) e mel de abelha silvestre. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 6 (11), 85434–85451. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-094>

Fikadu, Z. Pesticide use, practices and its effectiveness in Ethiopia: a review.

Int J Trop Insect Sci. 40:473–481. 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s42690-020-00114-x>

Fox J & Weisberg S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*, third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>.

Gajardo-Rojas, M., Muñoz, AA, Barichevich, J., Klock-Barría, K., Gayo, EM Fontúrbel, FE, Olea, M., Lucas, CM, & Veas, C. (2022). Declínio da produção de mel e adaptação dos apicultores às mudanças climáticas no Chile. *Progresso em Geografia Física: Terra e Meio Ambiente*, 46 (5), 737–756. <https://doi-org.ez350.periodicos.capes.gov.br/10.1177/03091333221093757>

Galhardo D, Garcia RC, Schneider CR, Braga GC, Chambó ED, França DLB de et al. Physicochemical, bioactive properties and antioxidant of *Apis mellifera* L. honey from western Paraná, Southern Brazil. *Food Sci Technol* [Internet]. 2021 Jun; 41:247–53. Available from: <https://doi.org/10.1590/fst.11720>

Garbuzov M, Couvillon MJ, Scharch R, Ratnieks FLW. 2015. Honeybee dance decoding and pollen-load analysis show limited foraging spring-flowering oil seed rape, a potential source of neonicotinoid contamination. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 203: 62-68.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.12.009>.

Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*. 11:97-105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>

Genini J, Guimarães Jr PR, Sazima M, Sazima I, Morellato. 2021. Temporal organization among pollination systems in a tropical seasonal forest . *The Science of Nature* 108: 34.
<https://doi.org/10.1007/s00114-021-01744-y>

Gregório A, Galhardo D, Sereia MJ, Wielewski P, Gavazzoni L, Santos IF dos, et al. Antimicrobial, physicochemical and antioxidant activity of *Apis mellifera* honey samples from different regions of Paraná, Southern Brazil . *Food Sci Technol* [Internet]. 2021; 41:583–90. Available from: <https://doi.org/10.1590/fst.32820>

Godoy, CA, Valderrama, P. & Boroski, M. 2022. Monitoramento HMF: Condição de armazenamento e qualidade do mel. *Comida Anal. Métodos* 15, 3162–3176.
<https://doi.org/10.1007/s12161-022-02358-4>

Guimarães-Cestaro L, Alves MLTMF, Message D, Silva MVGB, Teixeira EW. *Sociobiology* 64: 42-49.

Herve M. 2023. RVAideMemoire: testingandplotting procedures for biostatistics. R packageversion 0.9-83-7 <<https://CRAN.R-project.org/package=RVAideMemoire>>.

Hung K-LJ, Kingston JM, Albrecht M, Holway DA, Kohn JR. 2018. The world wide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proc. R. Soc. B* 285. <http://doi.org/20172140>.

IBGE. América do Sul: Ênfase na região do Paraná localizado no Brasil. Brasil: IBGE, 2021. Base cartográfica. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2021/geopackage/>. Acesso em: 25 jan. 2024.

Jaafar K, Haidar J, Kuraydiyyah S, Ghaddar T, Knio K, Ismail B, Toufeili I. Physicochemical, melissopalynological and antioxidant properties of artisanal honeys from Lebanon. *J Food SciTechnol*. 2017 Jul;54(8):2296-2305. <http://doi.org/10.1007/s13197-017-2667-8>.

Jackson JF. 1978. Seasonality of flowering and leaf-fall in a Brazilian subtropical lower montane moist forest. *Biotropica* 10: 38-42. <https://doi.org/10.2307/2388103>

Kadri, S. M., Zaluski, R., Lima, G. P. P., Mazzafera, P., & Orsi, R. O. (2016). Characterization of Coffea Arabica monofloral honey from Espírito Santo , Brazil. *Food Chemistry*, 203, 252–257.

Kirigaya, N., Kato, H. andFujimaki, M. 1971. Studies on antioxidant activity of non enzymic brownin greaction products. Part III. Fractionation of browning reaction solution between ammonia and D-glucose and antioxidant activity of there sulting fractions. *Nippon Nogei Kagaku Kaishi* 45, 292–298

Klein S, Pasquaretta C, He XJ, Perry C, Sovik E, D J-M, Barron AB, Lihoreau M. 2019. Honey bees increase their foraging performance and frequency of pollen trips through experience. *Scientific Reports* 9: 6778. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42677-x>

Lianda, R. L. P., Santana, L. D., Echevarria, A., & Castro, R. N. (2012). Antioxidant activity And phenolic composition of Brazilian honey sand their extracts. *Journalof the Brazilian Chemical Society*, 0, 01–10.<https://doi.org/10.1590/S0103-50532012000400006>

Lopes SF, Schiavini I, de Oliveira AP, Vale VS. 2012. Anecological comparison of floristic composition in Seasonal Semi deciduous Forest in Southeast Brazil: implications for conservation. *International Journal of ForestryResearch* . <https://doi.org/10.1155/2012/537269>.

Lopes, SF. 2010. Padrões florísticos e estruturais das Florestas Estacionais Semidecíduais do Triângulo Mineiro, MG. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Universidade Federal de Uberlândia.

Louveaux, J.; Maurizio, A.; Vorwol, H. L. G., Methods of melissopalynology. *Bee World*, v.59, p.139- 157, 1978.

Malagnini V, Cappellari A, Marini L, Zanutelli L, Zorer R, Angeli G, Ioriatti C, Fontana P. 2022. Seasonality and landscape composition drive the diversity of pollen collected by managed honey

bees. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6: 865368. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.865368>

Marcolin LC, Lima LR, Arias JLO, Berrío ACB, Kupski L, Barbosa SC, Primel EG, (2021). Meliponini and *Apis mellifera* honey in Southern Brazil: Physicochemical characterization and determination of pesticides. *Food Chem* 363: 130175. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130175>

Margatto C, Berno VO, Gonçalves RB, Faria LRR. 2019. Orchidbees (Hymenoptera, Apidae, Euglossini) are seasonal in Seasonal Semideciduous Forest fragments, southern Brazil. *Papeis Avulsos de Zoologia* 59: <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2019.59.07>

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 11, de 20 de outubro de 2000. Regulamento Técnico de identidade e qualidade do mel. Disponível na internet http://www.agricultura.gov.br/sda/dipoa/anexo_intrnorm11.htm.

Mason, R.L., Gunst, R.F., Hess, J.L. 1989. Statistical design and analysis of experiments: applications engineering and science. Wiley, New York.

Meira, R. B.; Campi, D. Revolução na agricultura: os ministérios da Agricultura no Brasil e na Argentina e as novas paisagens açucareiras no primeiro quartel do século XX. *Antíteses, [S. l.]*, v. 13, n. 26, p. 390–423, 2020. <https://doi.org/10.5433/1984-3356.2020v13n26p390>.

Mikich SB, Silva SM. 2001. Composição florística e fenologia das espécies zoocôricas de remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual no Centro-Oeste do Paraná, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 15: 89-113. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000100010>

Monteiro, C. A. F. In. Grande região Sul, Rio de Janeiro: IBGE, 1968. v.4, t.1, p.114-166.

Molan, P.C. 2023. The antibacterial activity of honey: 1. The nature of the antibacterial activity. *Bee World*, 73, 5–28

Morellato LPC, Leitão-Filho HF. 1992. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. In: Morellato LPC (Org.). História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil. Campinas, Fapesp, p. 112-140.

Mouhoubi-Tafinine, Z.; Ouchemoukh, S.; BachirBey, M.; Louaileche, H.; Tamendjari, A. 2018. Effect of storage on hydroxymethylfurfural (HMF) and color of some Algerian honey. *Int. Food Res. J.* <http://doi.org/1044-1050>

Nunes, S. P., Heindrickson, M. 2019. A cadeia produtiva do mel no Brasil: análise a partir do sudoeste Paranaense. *Brazilian Journal of Development*, 5, 9, 16950-16967. <http://doi.org/10.34117/bjdv5n9-222>

Nascimento, K. S. do Sattler, J. A. G., Macedo, L. F. L., Gonzalez, C. V. S., Melo, I. L. P. de, Araújo, E. da S., et al. (2018). Phenolic compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 85-94. doi:10.1016/j.lwt.2018.01.016

O'Brien, R.M. (2007) A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Qual. Quant.* 41, 673–690. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6>

Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, O'Hara R, Solymos P, Stevens M, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Carvalho G, Chirico M, De Caceres M, Durand S, Evangelista H, FitzJohn R, Friendly M, Furneaux B, Hannigan G, Hill M, Lahti L, McGlinn D, Ouellette M, Ribeiro Cunha E, Smith T, Stier A, Ter Braak C, Weedon J 2022. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-4. <https://doi.org/10.32614/cran.pacote.vegano>

Pahl M, Zhu H, Tautz J, Zhang S. 2011. Large scale homing in honey bees. *PLoS One* 6: e19669.
Paradis E, Schliep K (2019). "ape 5.0: an environment for modern phylogenetic and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics* 35: 526-528. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty633>

Paradis, E. and Schliep, K. (2019) Ape 5.0: An Environment for Modern Phylogenetics and Evolutionary Analyses in R. *Bioinformatics*, 35, 526-528. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty633>

Patel V, Boruff B, Biggs E, Pauli N. 2023. Assessing the influence of variation in forage availability on spatial patterns of bee hive migration using a hybrid modelling approach - B-Agent. *Applied Geography* 157: 103003.

Pimenta, Fernando Martins, Allan Turini Speroto, Marcos Heil Costa, and Emily Ane Dionizio. 2021. "Mudanças Históricas no Uso da Terra e Adequação para Futura Expansão Agrícola no Oeste da Bahia, Brasil" *Sensoriamento Remoto* 13, no. 6: 1088. <https://doi.org/10.3390/rs13061088>

Rabeling SC, Lim JL, Tidon R, Neff JL, Simpson BB, Pawar S. 2019. Seasonal Variation Of a plant-pollinator network in the Brazilian Cerrado: implications for communities structure and robustness. *PLoS ONE* 14. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0224997>

Raweh HSA, Badjah-Hadj-Ahmed AY, Iqbal J, Alqarni AS. 2023. Physicochemical composition of local and imported honeys associated with quality standards. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods12112181>

R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org>>.

Ribbands, CR. 1951. The flight range of the honey-bee. *Journal of Animal Ecology* 20: 220-226.

Ribeiro, Renato de Jesus et al. Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante do mel de *Apis mellifera* do oeste paranaense. *Acta Brasiliensis*, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 95-100, set. 2022. ISSN 2526-4338. <https://doi.org/10.22571/2526-4338585>

Rocha-Filho LC, Garófalo CA. 2014. Phenological patterns and preferences for aromatic compounds by male euglossine bees (Hymenoptera, Apidae) in two coastal ecosystems of the Brazilian Atlantic Forest. *Neotropical Entomology* 43: 9-20. <http://doi.org/10.1007/s13744-013-0173-x>

Royo VdA, Oliveira DAd, Veloso PHF, Sacramento VdM, Olimpio ELA, Souza LFd, Pires NdC, Martins CHG, Santiago MB, Alves TMdA, et al. 2022. Perfil Físico-Químico, Atividades Antioxidantes e Antimicrobianas de Méis Produzidos em Minas Gerais (Brasil). *Antibióticos*. 11(10):1429. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101429>

Rubim P, Nascimento HEM, Morellato LPC. 2010. Variações interanuais na fenologia de uma comunidade arbórea de floresta semidecídua no sudeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 24: 756-

764. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000300019>.

Santos, E.M.S.; Santos, H.O.; Brandi, I.V.; Santos, G.L.M.; Viana, M.I.d.J.; Araújo, B.R.S.; Santos, T.C.; Alves, J.N.; Neiva, R.J. 2018. Caracterização do mel do Médio Jequitinhonha—Brasil: Uma abordagem preliminar/ Characterization of Jequitinhonha honey Valley—Brazil: A preliminary approach. *Cad. Ciências Agrárias* 2018, 10, 45–51. Available online: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/3030>

SchäferRB, LiessM, AltenburgerR, FilserJ, Hollert H, NickollMR, SchäfferA, Scheringer M. Future pesticide risk assessment: narrowing the gap between intention and reality. *Environ SciEur* 2019. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0203-3>

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics And Polyphenols in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and heal the effects – a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820–897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

Seeley TD. 1995. *The Wisdom of the Hive*. Harvard University Press, Londres.

Sęk A, Porębska A, Szczęśna T. 2023. Qualidade do mel de Manuka disponível comercialmente, expressa pela composição do pólen, atividade de diástase e conteúdo de hidroximetilfurfural. *Alimentos*. 12(15): <https://doi.org/10.3390/foods12152930>

Southwick EE & Buchmann SL. 1995. Effects of horizontal and marksonhoming success in HoneyBees. *The American Naturalist* 146: 748–764. <http://www.jstor.org/stable/2462989>.

Stabentheiner A, Kovac H. 2016. Honeybee Economics: optimisation of foraging in a variable world. *Scientific Reports* 6: <https://doi.org/10.1038/srep28339>

Steffan-Dewenter I & Kuhn A. 2003. Honeybee Foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings Of The Royal Society B Biological Sciences*, 270: 569-575. doi: 10.1098/rspb.2002.2292.

Tang FHM, LenzenM, McBratney A, Maggi F. 2021. Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature Geoscience* 14:206-210. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00712-5>

Tonelli LL, Garcia RC, Oliveira RB, Ribeiro RJ, Chiamolera SR. 2022. Levantamentos florísticos e sua importância para a produção de mel no Oeste Paranaense. *Ciência Florestal* 32: 417-450. <https://doi.org/10.5902/1980509864084>

Valdás-Silverio LA, Iturralde G, Garcã-Tenesaca M, Paredes-Moreta J, Narvaez-Narvaez DA, Rojas-Carillo M, Tejera E, Beltrão-Ayala P, Giampieri F, Alvarez-Suarez JM. 2018. Physicochemical parameters, chemical composition, antioxidant capacity, microbial contamination and antimicrobial activity of eucalyptus honey from the Andean region of Ecuador. *Journal of Apicultural Research* 57: 382-394. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1426349>

Veloso PH, Rangel Filho ALR, Lima JCA. 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro, IBGE.

Visscher PK & Seeley TD. 1982. Foraging strategy of honey bee colonies in a temperate deciduous forest. *Ecology* 63: 1790-1801. <https://doi.org/10.2307/1940121>.

Zeileis A & Hothorn T. 2002. Diagnostic Checking in regression relationships. *R News* 2: 7-10.

Waddington KD, Herbert TJ, Visscher PK, Richter MR. 1994. Comparisons of forager distributions of matched honeybee colonies in suburban environments. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 35: 423–429. <http://www.jstor.org/stable/4601032>.

Wirta H, Jones M, Peña-Aguilera P, Chacón-Duque C, Vesterinen E, Ovaskainen O, Abrego N, Roslin T. 2023. The role of seasonality in shaping bee interactions with other taxa. *Ecology and Evolution* 13: e10580. <https://doi.org/10.1002/ece3.10580>