



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

FRANCIELI BRAGHINI

**EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO E TEMPERATURA DE
ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE E PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS
DE MÉIS DE ABELHAS SEM FERRÃO (Meliponini)**

FLORIANÓPOLIS

2021

FRANCIELI BRAGHINI

**EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO E TEMPERATURA DE
ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE E PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS
DE MÉIS DE ABELHAS SEM FERRÃO (Meliponini)**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência dos Alimentos da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de Doutora em Ciência dos Alimentos.
Orientador: Profa. Dra. Roseane Fett

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Braghini, Francieli

Efeitos do tratamento térmico e temperatura de armazenamento na qualidade e perfil de compostos fenólicos de méis de abelhas sem ferrão (Meliponini) / Francieli Braghini ; orientadora, Roseane Fett, 2021.
125 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Mel de Melipona. 3. Processamento térmico. 4. Vida útil. 5. Compostos bioativos. I. Fett, Roseane. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Francieli Braghini

Efeitos do tratamento térmico e temperatura de armazenamento na qualidade e perfil de compostos fenólicos de méis de abelhas sem ferrão (Meliponini)

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Ismael Ivan Rockenbach, Dr.
Universidade Federal da Paraíba

Profa Ivane Benedetti Tonial, Dra.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa Maria Beatriz de Abreu Gloria, Dra.
Universidade Federal de Minas Gerais

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutora em Ciência dos Alimentos.

Profa. Ana Carolina Maisonnave Arisi, Dra.
Coordenadora do Programa

Profa. Roseane Fett, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2021.

Aos amores da minha vida:

José F. S. Silveira Junior

Vicente F. Silveira

AGRADECIMENTOS

Durante esta jornada eu fui muito agraciada pela mãe existência, por ter colocado no meu caminho diversas pessoas incríveis, que puderam contribuir para minha evolução, profissional e pessoal. Outras, sempre estiveram comigo, e permaneceram dando amor e força, caminhando junto. E mesmo que eu não consiga citar o nome de todos aqui, certamente não diminui a importância que tiveram na minha trajetória.

A pessoa mais importante nesta conquista é meu companheiro de vida, José F. S. Silveira Junior. Agradeço por tudo que ele desperta de melhor em mim e pela vitalidade me proporcionada todos os dias com seu amor. Ele é parte fundamental disso tudo. Te amo!

Agradeço a joia rara que chegou para mim durante este percurso tão desafiador, meu filho Vicente Francisco Silveira. Sem dúvida ser mãe me trouxe a maturidade necessária para sempre prosseguir, apesar dos obstáculos.

Gratidão também:

À minha sogra, Maria Rejane Rajab, incentivadora desde sempre. Obrigada por todos os conselhos, mimos e apoio (em TUDO!).

À minha mãe, Leci L. Boff, por sonhar comigo, mesmo sem conseguir entender, muitas vezes, o que essa titulação significa.

À minha irmã Caroline S. Nunes, pelo “bom dia” diário, que me trouxeram muita alegria, diminuindo a saudade da família. E também por me dar um presente valioso nesta caminhada: minha sobrinha Maria Valentina Alves Nunes.

À minha dinda, Ana Luiza Brasil, presente que Floripa me trouxe para a vida. Foram tantos momentos felizes, de conforto e amor, nem consigo descrever, só agradecer por te-la na minha vida. E ao dindo LuCA, por tantos ensinamentos, só gratidão!

Um muito obrigado especial:

À minha orientadora Profa. Dra. Roseane Fett, por me aceitar em seu grupo de pesquisa, por confiar no meu trabalho, e ser essa pessoa complacente.

Ao técnico de laboratório Luciano V. Gonzaga. Um mentor, profissional e pessoal! Sempre pronto a colaborar, eu não canso de agradecer por ter convivido diariamente com este ser tão perspicaz.

Aos colegas do Laboratório de Química de Alimentos (LabQA). Àqueles que já passaram (Greice Bergamo, Roberta G. Barbosa, Bruno L. Ferreira, Fabiana Della Betta e Mônia S. Azevedo) e aos que permanecem (Fabiola C. Biluca, Mayara Schulz, Siluana K. T. Seraglio, Bibiana da Silva, Patricia Brugnerotto, Adriane C. Santos, Fábio Z. Ugalde, Carolina

T. P. Deolindo e Victor V. Gomes). A companhia leve e colaborativa de todos os dias, sempre foi motivação para continuar. Valeu Silu pela companhia no chimarrão, regada de prosas! E à Biluca, parceira de trabalho com os méis de abelhas sem ferrão, obrigada por todo conhecimento adquirido, e pela amizade sincera.

A Profa. Dra. Ana Carolina O. Costa, uma pessoa altruísta, muito especial, que admiro demais! Certamente a contribuição dela a este trabalho ultrapassou a academia.

Ao Prof. Dr. Luciano Vitali, pela parceria na identificação e quantificação dos compostos fenólicos pelo LC-ESI-MS/MS, e ainda pela disponibilidade de sempre.

Aos amigos/irmãos que se tornaram minha família em Floripa: Gabriela Brasil, Thiago Rocha e os filhos Gabriel e João; Michele Tavares, Douglas Reis e o filho Raul; Rui Florêncio e Rívea M. Borges; e Eveline e Daniel Fontoura. A Gabi e a Mi são minhas irmãs de vida: mulheres maravilhosas, artistas espetaculares, sensíveis, só agradeço por tantas descobertas e ensinamentos. Aos companheiros destas mulheres (Thiago e Douglas), que muito me ensinam sobre a arte de cultivar e celebrar a natureza. Ao Rui e Rívea, meus compadres, seres iluminados, que me abraçam mesmo estando longe, fundamentais durante o isolamento na pandemia, onde cada vídeo chamada foi revigorante. E a Eveline e Daniel, casal incrivelmente querido, onde compartilhamos muitos momentos felizes.

A minha família: avó Salete e Gessi pelas orações; tio Junior e Tayara pelos memoráveis encontros nas férias; ao meu padrastrô Vilmar e ao meu sogro José Francisco pelo apoio financeiro; ao Daniel Ferreira, as minhas tias, e primas (os) pela torcida.

Aos meliponicultores que doaram o mel para realização deste trabalho. Sem eles nada disso seria possível. Obrigada! Agradecimento especial ao Abelino, meliponicultor de Caxambu do Sul - SC, muito querido e prestativo sempre.

Ao Ivanir Cella, que muito me ajudou para conseguir a doação das amostras. Ele foi muitas vezes o intermediário, convencendo e conscientizando os produtores da importância de auxiliar a pesquisa.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, que colaboram para minha formação, e também aos docentes de outros departamentos, em que tive a oportunidade de fazer disciplinas e/ou trabalhar em parceria.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

A abelha não faz mal, FAZ MEL!

(Autor desconhecido)

RESUMO

O mel de abelhas sem ferrão (Meliponini) é um produto com características físico-químicas distintas do mel produzido pelas abelhas *Apis mellifera*, o qual apresenta, principalmente, elevada umidade e acidez, menores quantidades de açúcares e 5-hidroximetilfurfural (5-HMF) e baixa atividade de diastase. Também é reconhecido por sua elevada capacidade antioxidante, devido aos compostos fenólicos presentes. Dentre suas características, a elevada umidade e acidez, estão associadas a reduzida vida de prateleira do produto, de modo que, passa a existir a necessidade do emprego de técnicas de conservação, que mantenham sua qualidade e potencial bioativo ao longo do armazenamento. Neste sentido, o tratamento térmico surge como uma alternativa prática e de baixo custo, por gerar mínimos efeitos as características do mel. No entanto, são inexistentes os estudos que investiguem o efeito do tratamento térmico no armazenamento em diferentes temperaturas, principalmente quanto ao perfil de compostos fenólicos. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito do tratamento térmico (90 °C) e da temperatura de armazenamento na qualidade e perfil de compostos fenólicos de diferentes méis de abelhas sem ferrão. Foram utilizados para o estudo méis de cinco espécies de abelhas sem ferrão (*Melipona quadrifasciata*, *Melipona marginata*, *Melipona bicolor*, *Melipona mondury* e *Melipona scutellaris*) produzidos no estado de Santa Catarina - Brasil. As amostras foram avaliadas no estado fresco, após tratamento térmico e após armazenamento, quanto a umidade, acidez livre, 5-HMF, atividade de diastase, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos. O tratamento térmico foi realizado em banho termostático a 90 °C, sendo posteriormente as amostras armazenadas por 90 dias em câmaras ao abrigo da luz à temperatura ambiente (22 ± 1,5 °C) e em estufa de circulação de ar à temperatura elevada (40 ± 0,2 °C). Amostras controle (sem tratamento térmico) de mel de *M. mondury* e *M. scutellaris* também foram armazenadas nestas condições. Além disso, a amostra de mel de *M. bicolor* tratada termicamente foi armazenada por 365 dias a 4 °C, a fim de simular o armazenamento realizado pelos consumidores. Os resultados revelaram que, em geral, o tratamento térmico não modificou as características físico-químicas, a capacidade antioxidante *in vitro* e os compostos fenólicos dos méis após o armazenamento a 22 °C. O armazenamento a 40 °C foi o único capaz de gerar 5-HMF, e demonstrou as menores concentrações de compostos fenólicos nas amostras. A amostra de mel de *M. bicolor* armazenada a 4 °C por 365 dias, não apresentou níveis quantificáveis de 5-HMF. Ademais, o potencial bioativo desta amostra foi similar ao mel fresco. Verificou-se ainda que as amostras armazenadas sem tratamento térmico (controle) apresentaram níveis de acidez livre e 5-HMF mais elevados que as amostras tratadas termicamente e armazenadas nas mesmas condições. Por outro lado, as amostras controle apresentaram maior capacidade antioxidante *in vitro*, comparado as amostras tratadas termicamente e armazenadas nas mesmas condições. Quanto ao perfil de compostos fenólicos, após armazenamento, os méis tratados termicamente apresentaram maior concentração total de compostos fenólicos comparados às amostras controle armazenadas nas mesmas condições. Este fato se deu possivelmente pelo surgimento de novos compostos após tratamento térmico e armazenamento e pela redução/desaparecimento de outros. Em conclusão, verificou-se que o tratamento térmico pode ser útil na manutenção das características físico-químicas, capacidade antioxidante *in vitro* e compostos fenólicos em méis de abelhas sem ferrão armazenados por 90 dias, a 22 °C, sendo o armazenamento em temperaturas elevadas não recomendado. Tais resultados têm caráter exploratório e contribuem para orientar novos estudos relacionados. Espera-se que no futuro seja possível fornecer apoio técnico-científico à cadeia produtiva dos méis de abelhas sem ferrão, principalmente no que diz respeito à sua comercialização.

Palavras-chave: Mel, Melipona, Processamento térmico, Características físico-químicas, Compostos bioativos, Capacidade antioxidante, Vida de prateleira.

ABSTRACT

The stingless bees honey (Meliponini) is a product with different physicochemical characteristics from the honey produced by the *Apis mellifera* bees, which mainly presents high moisture and acidity, lower amounts of sugars and 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF) and low activity of diastase. It is also recognized for its high antioxidant capacity, due to the phenolic compounds present. Among its characteristics, high moisture and acidity are associated with reduced shelf life of the product, so that there is a need to use conservation techniques that maintain its quality and bioactive potential throughout storage. In this sense, heat treatment appears as a practical and low-cost alternative, as it generates minimal effects on the characteristics of honey. However, there are no studies investigating the effect of heat treatment on storage at different temperatures, especially regarding the profile of phenolic compounds. Thus, the aim of the study was to evaluate the effect of heat treatment (90 °C) and storage temperature on the quality and profile of phenolic compounds in different stingless bees honeys. Honey from five species of stingless bees (*Melipona quadrifasciata*, *Melipona marginata*, *Melipona bicolor*, *Melipona mondury* and *Melipona scutellaris*) produced in the state of Santa Catarina - Brazil were used for the study. The samples were evaluated in fresh, after heat treatment and after storage, for moisture, free acidity, 5-HMF, diastase activity, in vitro antioxidant capacity and phenolic compounds profile. The heat treatment was carried out in a thermostatic bath at 90 °C, and the samples were then stored for 90 days in light-protected chambers at room temperature (22 ± 1.5 °C) and in an air circulation oven at high temperature (40 ± 0.2 °C). Control samples (without heat treatment) of honey from *M. mondury* and *M. scutellaris* were also stored under these conditions. In addition, the heat-treated *M. bicolor* honey sample was stored for 365 days at 4 °C, in order to simulate the storage performed by consumers. The results revealed that, in general, the heat treatment did not modify the physicochemical characteristics, the in vitro antioxidant capacity and the phenolic compounds of the honeys after storage at 22 °C. Storage at 40 °C was the only one capable of generating 5-HMF, and demonstrated the lowest concentrations of phenolic compounds in the samples. The honey sample of *M. bicolor* stored at 4 °C for 365 days did not show quantifiable levels of 5-HMF. Furthermore, the bioactive potential of this sample was similar to fresh honey. It was also found that samples stored without heat treatment (control) had higher levels of free acidity and 5-HMF than samples heat treated and stored under the same conditions. On the other hand, control samples showed greater antioxidant capacity in vitro, compared to heat treated samples stored under the same conditions. As for the profile of phenolic compounds, after storage, the heat treated honeys presented a higher total concentration of phenolic compounds compared to control samples stored under the same conditions. This fact was possibly due to the emergence of new compounds after heat treatment and storage and the reduction/disappearance of others. In conclusion, it was found that heat treatment can be useful in maintaining physicochemical characteristics, in vitro antioxidant capacity and phenolic compounds in stingless bee honey stored for 90 days at 22 °C, with storage at elevated temperatures not recommended. Such results are exploratory in nature and contribute to guide further related studies. It is expected that in the future it will be possible to provide technical-scientific support to the production chain of stingless bee honey, especially with regard to its commercialization.

Keywords: Honey. Meliponina, Thermal processing, Physicochemical characteristics, bioactive compounds, Shelf life, Antioxidant capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Algumas espécies de abelhas sem ferrão (Meliponini): <i>Melipona rufiventris</i> (A), <i>Scaptotrigona bipunctata</i> (B), <i>Trigona pallens</i> (C), <i>Tetragonisca angustula</i> (D) e <i>Melipona quadrifasciata</i> (E).....	21
Figura 2 - Diferentes entradas de ninho de espécies de abelhas sem ferrão (Meliponini).....	20
Figura 3 - Colmeia de abelhas sem ferrão (Meliponini), em tronco de árvore (A) e em caixa (B).....	22
Figura 4 - Distribuição mundial (cor azul) de abelhas sem ferrão (Meliponini).....	23
Figura 5 - Gêneros de abelhas sem ferrão (Meliponini) identificadas no estado de Santa Catarina - Brasil.....	24
Figura 6 - Esquema das principais etapas da reação de Maillard e os produtos formados.	65
Figura 7 - Esquema de reação para formação de ácidos a partir de produtos da degradação térmica primária de glicose.....	66
Figura 8 - Capacidade redutora de Folin-Ciocalteu (FC), capacidade de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e poder redutor do ferro (FRAP) em méis de abelhas sem ferrão frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento a 22 e 40 °C de 90 dias, e a 4 °C de 365 dias (amostra MB).....	90
Figura 9 - Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> dos méis de <i>Melipona mondury</i> - MMO (A) e <i>Melipona scutellaris</i> - MS (B) tratados termicamente (90 °C), após armazenamento de 90 dias a temperatura de 22 e 40 °C, incluindo amostra controle (sem tratamento térmico).	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e limites adotados pelas regulamentações estaduais para méis de abelhas sem ferrão em comparação as legislações internacional e nacional para mel de <i>Apis mellifera</i>	29
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.....	31
Tabela 3 - Concentrações (g 100 g ⁻¹) de frutose e glicose de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.....	45
Tabela 4 - Concentração (% m/m) de maltose, arabinose, turanose, trealose e erlose em méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.....	46
Tabela 5 - Conteúdo de proteínas em méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.	47
Tabela 6 - Minerais de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.	51
Tabela 7 - Ácidos orgânicos de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.	56
Tabela 8 - Compostos fenólicos identificados em méis de diferentes espécies de abelhas sem ferrão.....	60
Tabela 9 - Parâmetros físico-químicos de méis de <i>Melipona quadrifasciata</i> (MQ1 e MQ2), <i>Melipona marginata</i> (MMA) e <i>Melipona bicolor</i> (MB) frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C.....	81
Tabela 10 - Parâmetros físico-químicos de méis de <i>Melipona mondury</i> (MMO) e <i>Melipona scutellaris</i> (MS) frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C, incluindo amostra controle (méis sem tratamento térmico).	82
Tabela 11 - Compostos fenólicos (µg 100 g ⁻¹) das amostras de mel de <i>Melipona quadrifasciata</i> (MQ1 e MQ2) e <i>Melipona marginata</i> (MMA) frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias as temperaturas de 22 e 40 °C.	96
Tabela 12 - Compostos fenólicos (µg 100 g ⁻¹) da amostra de mel de <i>Melipona bicolor</i> fresco, tratado termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias as temperaturas de 22 e 40 °C, e após 365 dias a 4 °C.....	97
Tabela 13 - Compostos fenólicos (µg 100 g ⁻¹) das amostras de mel de <i>Melipona mondury</i> (MMO) e <i>Melipona scutellaris</i> (MS) frescos, tratado termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias as temperaturas de 22 e 40 °C, incluindo o armazenamento da amostra controle (sem tratamento térmico).	98

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- 5-HMF - 5-hidroximetilfurfural
- AR - açúcares redutores
- ABTS - 2,2-azino-bis-(3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico)
- AMELPAN - Associação dos Meliponicultores do Projeto Abelhas Nativas
- ANOVA - Análise de variância
- CE - condutividade elétrica
- CIDASC - Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DPPH - 2,2-difenil-1-picril-hidrazil
- FC - Folin Ciocalteu
- FLD - detector de fluorescência (*do inglês, Fluorescence Detector*)
- FRAP - poder de redução do ferro (*do inglês, Ferric Reducing Antioxidant Potential*)
- HPLC - cromatografia líquida de alta eficiência (*do inglês, High performance liquid chromatography*)
- IR - índice de refração
- LC/ESI-MS/MS - cromatografia líquida acoplada ao espectrômetro de massas com ionização por eletrospray (*do inglês: Liquid Chromatography Electrospray Ionization Tandem Mass Spectrometer*)
- LLE - extração líquido-líquido (*do inglês, liquid-liquid extraction*)
- LOD - limite de detecção (*do inglês, limit of detection*)
- LOQ - limite de quantificação (*do inglês, limit of quantification*)
- MALDI-TOF-MS - Ionização e dessorção a laser assistida por matriz/tempo de voo/ espectrômetro de massas (*do inglês, Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization-Time-Of-Flight/Mass Spectrometer*).
- MEKC - cromatografia eletrocínética micelar capilar (*do inglês Micellar Electrokinetic Capillary Chromatography*)
- mEq - miliequivalente
- mS - miliSiemens
- MS - espectrometria de massas (*do inglês, mass spectrometric*)
- SDS - dodecil-sulfato de sódio
- TBS - tetraborato de sódio
- TPTZ - 2,4,6-tris-(2-piridil)-1,3,5-triazina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 ABELHAS SEM FERRÃO (Meliponini)	20
3.2 MEL.....	26
3.2.1 Legislações	27
3.2.2 Composição química e parâmetros de identidade e qualidade	30
3.2.2.1 Umidade	38
3.2.2.2 Acidez livre	39
3.2.2.3 Cinzas e condutividade elétrica.....	40
3.2.2.4 5-Hidroximetilfurfural (5-HMF)	41
3.2.2.5 Atividade de diastase	42
3.2.2.6 Açúcares	43
3.2.2.7 Proteínas e aminoácidos	46
3.2.2.8 Vitaminas	49
3.2.2.9 Minerais.....	49
3.2.2.10 Ácidos orgânicos	55
3.2.2.11 Compostos voláteis	56
3.2.2.12 Compostos fenólicos	58
3.3 ESTABILIDADE DE COMPOSTOS QUÍMICOS PRESENTES NO MEL	63
3.4 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DO MEL	69
3.4.1 Tratamento térmico.....	72
4 MATERIAL E MÉTODOS	75
4.1 REAGENTES E SOLUÇÕES.....	75
4.2 AMOSTRAS	75
4.3 TRATAMENTO TÉRMICO.....	76
4.4 ARMAZENAMENTO	77
4.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	77
4.6 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE <i>in vitro</i>	78

4.7 PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS	79
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	80
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	81
5.2 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE <i>in vitro</i>	89
5.3 PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS	95
6 CONCLUSÃO.....	101
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE A - LIMITES DE DETECÇÃO (LOD) E QUANTIFICAÇÃO (LOQ) DOS COMPOSTOS FENÓLICOS IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE MÊIS DE ABELHAS SEM FERRÃO.	122
ANEXO A - ARTIGO DE REVISÃO PUBLICADO NA REVISTA FOOD REVIEWS INTERNATIONAL, PRODUZIDO A PARTIR DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DESTE TRABALHO.	123
ANEXO B - ARTIGO DE PESQUISA PUBLICADO NA REVISTA LWT, A PARTIR DOS RESULTADOS OBTIDOS NESTE TRABALHO.....	124
ANEXO C - DEMAIS PRODUÇÕES GERADAS COM O PRESENTE TRABALHO.....	125

1 INTRODUÇÃO

O mel é um alimento natural produzido pelas abelhas. No mundo, existem mais de 20 mil espécies de abelhas, divididas em subfamílias e tribos (MICHENER, 2013). As mais populares são as abelhas do gênero *Apis* - subfamília Apinae, tribo Apinini, que produzem mel em grandes quantidades com padrões de identidade e qualidade bem definidos e, portanto, são comercializadas em todo o mundo (DA SILVA et al., 2016). Há outro grupo, bem diversificado, com mais de 500 espécies distribuídas em regiões tropicais e subtropicais. As abelhas deste grupo são reconhecidas como abelhas sem ferrão, também pertencentes à subfamília Apinae, porém da tribo Meliponini. As abelhas sem ferrão também diferenciam-se da popular abelha *Apis mellifera* (abelha “com ferrão”) na procura de néctar, com revoadas curtas e coleta de flores rasteiras; no armazenamento do mel e polén, que ocorre em potes ovais e não em favos; e também morfológicamente, com abelhas de distintas cores e tamanhos entre si, cada qual com seus hábitos sociais (MICHENER, 2013).

Essas diferenças, em conjunto com outros fatores, como origem geográfica e floral, fazem com que o mel produzido pelas abelhas sem ferrão seja distinto daquele produzido pelas abelhas *Apis mellifera*. Sensorialmente, os méis de abelhas sem ferrão são menos doces e mais ácidos, fluido, com aroma bem marcado, e frequentemente de cores mais claras (DA COSTA et al., 2018; DE SOUSA et al., 2016). Quanto às suas características físico-químicas, esses méis são descritos na literatura por possuírem teor elevado de umidade e acidez, assim como, reduzido conteúdo de açúcares e 5-hidroximetilfurfural (5-HMF) e baixa atividade de diastase (BILUCA et al., 2016; CHUTTONG et al., 2016; DE SOUSA et al., 2016). Sua composição química apresenta ainda proteínas, aminoácidos, minerais, ácidos orgânicos, compostos voláteis e compostos fenólicos (AVILA et al., 2018; NORDIN et al., 2018). Além do mais, o mel de abelhas sem ferrão é reconhecido popularmente por suas propriedades medicinais, as quais se devem principalmente aos compostos bioativos presentes, que contribuem para a capacidade antioxidante, trazendo benefícios à saúde (AVILA et al., 2019; BILUCA et al., 2020; BILUCA et al., 2017; JALIL; KASMURI; HADI, 2017; SOUSA et al., 2016).

Devido a suas características particulares, o mel de abelhas sem ferrão conquistou destaque comercial e um aumento gradual do interesse por parte dos consumidores ao longo dos últimos tempos. Por outro lado, sua comercialização ainda é limitada, uma vez que padrões de identidade e qualidade globais não estão definidos. Como forma de minimizar este impacto, alguns estados brasileiros desenvolveram regulamentações próprias, dadas as características regionais das abelhas sem ferrão nativas predominantes (ADAB, 2014; ADAF, 2016;

ADAPAR, 2017; IDAF, 2019; SAR, 2020; SÃO PAULO, 2017). O desenvolvimento de uma legislação única, nacional e/ou internacional, similar às regulamentações existentes para o mel de *Apis mellifera* (BRASIL, 2000; CODEX, 2001), ainda é um desafio imposto pela diversidade dos méis de abelhas sem ferrão.

Além do mais, o mel de abelhas sem ferrão apresenta uma reduzida vida de prateleira (AVILA et al., 2018; CHUTTONG et al., 2015; JIMENEZ et al., 2016). Estudos evidenciaram um aumento de 5-HMF e acidez após armazenamento a 30 e 45 °C por 6 e 12 meses (JIMENEZ et al., 2016), e a 25, 35 e 45 °C por 60 dias, além de alterações na capacidade antioxidante *in vitro* (CHUTTONG et al., 2015). O elevado conteúdo de água e baixo teor de açúcares, contribuem de forma indesejada para o processo de fermentação, com a proliferação de microorganismos, sejam eles pertencentes à microbiota do próprio néctar ou colmeia, ou ainda introduzidos pelos manipuladores do meliponário (NOGUEIRA-NETO, 1997). As alterações ocasionadas pela fermentação podem modificar sabor e aroma, tornando o produto descaracterizado sensorialmente (RIBEIRO et al., 2018). Assim como, outras características físico-químicas do mel de abelhas sem ferrão podem ser modificadas durante o armazenamento, considerando sua composição química, influenciada por fatores internos e externos à colmeia (CHUTTONG et al., 2015; JIMENEZ et al., 2016).

Buscando contornar a dificuldade de comercialização deste mel e fornecer apoio técnico-científico à cadeia produtiva desses méis, sugere-se o uso do tratamento térmico como uma alternativa viável. O seu uso em méis de *Apis mellifera*, é uma prática comum, com regulamentação específica sobre as condições de aquecimento (BRASIL, 1985). Em méis de abelhas sem ferrão ainda não há – até o momento – regulamentação para esta prática, mas estudos realizados ao longo dos últimos anos têm mostrado resultados promissores. Biluca et al. (2014) relataram resistência do mel de abelhas sem ferrão à formação de 5-HMF, quando aquecido a 75 °C por 24 h. Ribeiro et al. (2018) não encontraram diferenças significativas nos parâmetros físico-químicos entre o mel fresco de Tiuba (*Melipona fasciculata*) e após a pasteurização (65 °C/30min), incluindo a não detecção de 5-HMF. Da mesma maneira que Braghini et al. (2019) não observaram mudanças na qualidade, evidenciando além disso, um aumento no conteúdo de compostos fenólicos e capacidade antioxidante *in vitro* destes méis quando aplicados tratamentos térmicos de curto tempo (90-95 °C/15-60s).

No entanto, méis de abelha sem ferrão tratados termicamente e armazenados em diferentes temperaturas foram pouco estudados. Até o momento, somente Ribeiro et al. (2018) e Schvezov et al. (2020) realizaram tal investigação. Ribeiro et al. (2018), avaliaram mel de *M. fasciculata* após tratamento térmico (65 °C/30min) e armazenamento de 180 dias a -18 °C,

quanto ao perfil sensorial. Enquanto, Schvezov et al. (2020) avaliaram mel de *T. febrigi* após tratamento térmico (75 °C/15s) e armazenamento de 90 dias a 24 °C, quanto as propriedades físico-químicas (umidade, acidez, 5-HMF, atividade de diastase e pH) e microbiológicas (contagem de bolores e leveduras e coliformes).

Portanto, considerando a escassez de dados científicos sobre o assunto, torna-se relevante o aprofundamento dos conhecimentos, principalmente quanto no que diz respeito ao efeito do tratamento térmico e armazenamento na capacidade antioxidante *in vitro* e no perfil de compostos fenólicos em méis de abelha sem ferrão, uma vez que até o presente momento ainda não foram investigados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do tratamento térmico e da temperatura de armazenamento nas características físico-químicas, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos de diferentes méis de abelhas sem ferrão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do tratamento térmico (90 °C) e do armazenamento de 90 dias, a 22 e 40 °C, nas características físico-químicas, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos, de méis de *Melipona quadrifasciata*, *Melipona marginata* e *Melipona bicolor*;
- Comparar o perfil de compostos fenólicos, capacidade antioxidante *in vitro* e teor 5-hidroximetilfurfural do mel de *Melipona bicolor* após tratamento térmico (90 °C) e armazenamento por 365 dias, a 4 °C;
- Investigar as características físico-químicas, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos dos méis de *Melipona mondury* e *Melipona scutellaris* submetidos ao tratamento térmico (90 °C) e armazenados por 90 dias a 22 e 40 °C, com amostra controle.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ABELHAS SEM FERRÃO (Meliponini)

As abelhas são insetos pertencentes à família Apidae, subfamília Apinae, a qual se subdivide em quatro tribos: Apinini, Meliponini, Bombini e Euglossini. Destas, cada tribo apresenta características próprias de comportamento, nível de sociabilidade, preferências alimentares e morfologia. A tribo Meliponini, por exemplo, é a única em que as abelhas não possuem o ferrão ou o mesmo está atrofiado, e por isso são conhecidas como abelhas sem ferrão (MICHENER, 2013).

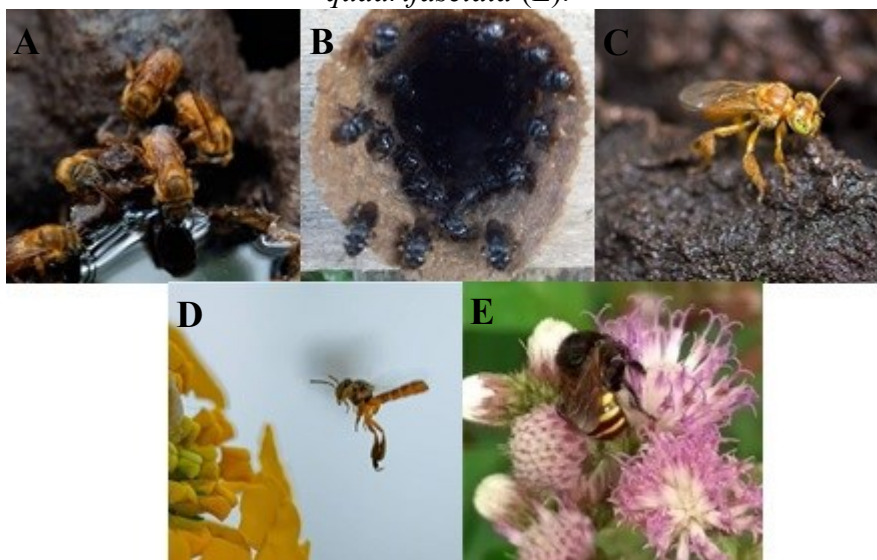
Meliponini possui ainda uma subdivisão, em dois grandes gêneros: *Melipona* e *Trigona*. O gênero *Melipona*, apresenta geralmente abelhas grandes, muitas vezes até maiores que a abelha *Apis mellifera*. Suas colônias tem menor número de indivíduos, e não há produção de célula real na formação de suas rainhas, esta possivelmente é a principal característica que as distingue dos outros Meliponini. Neste caso, a designação de uma nova rainha se dá por uma determinação genética, ou seja, todos os indivíduos da colônia nascem e se desenvolvem dentro de células de cria iguais, com a mesma quantidade de alimento, e por isso é comum à ocorrência de mais de uma rainha na colônia desta tribo (MICHENER, 2013; NOGUEIRA-NETO, 1997).

O gênero Trigonini, por sua vez, é muito diverso, possuindo divisões em grupos menores e mais homogêneos, chamados subgêneros. Alguns exemplos de subgêneros: *Cephalotrigna*, *Lestrimellita*, *Nannotrigona*, *Oxytrigona*, *Paratrigona*, *Partamona*, *Plebeia*, *Scaptotrigona*, *Trigona*, *Trigonisca*, entre outros. Dentre eles, algumas espécies, como a *Oxytrigona tataira* (caga-fogo), ao ser manejada libera através das glândulas salivares uma substância ácida, capaz de queimar a pele. Enquanto, as espécies do subgênero *Scaptotrigona* utilizam a força mandibular como forma de defesa. Mas, de forma geral, as abelhas sem ferrão são dóceis e de fácil manejo. Dentre as principais características dos Trigonini, destaca-se a variável população, que pode ser de 300 a 80.000 abelhas e a produção de célula real para formação de uma nova rainha. Assim, as larvas que recebem maior quantidade de alimento são designadas rainhas, chamadas de princesas (MICHENER, 2013; NOGUEIRA-NETO, 1997).

Há também, um grupo muito pequeno de abelhas sem ferrão (*Lestimellita*), que tem como principal característica morfológica a ausência do coletor de pólen. Além disso, sobrevivem exclusivamente do roubo de alimento de outras espécies de abelhas. Por isso, estas abelhas não são manejadas para a produção de mel e derivados (NOGUEIRA-NETO, 1997; NOGUEIRA-NETO et al., 1986).

Em geral, as abelhas sem ferrão integram um grupo com características bastante distintas entre suas espécies, diferentemente das abelhas pertencentes as tribos Apinini e Bombini, as quais estão reunidas geralmente em um mesmo gênero, sem grandes modificações (KLEINERT et al., 2009). Quanto a sua morfologia, as abelhas sem ferrão possuem tamanho bem variável, podendo ser desde muito pequena a um pouco maiores que as abelhas *Apis mellifera*, de coloração escura, com e sem listras, amarelas ou alaranjadas e até mesmo quase transparentes (Figura 1) (CARVALHO-ZILSE et al., 2012; MICHENER, 2013).

Figura 1 - Algumas espécies de abelhas sem ferrão (Meliponini): *Melipona rufiventris* (A), *Scaptotrigona bipunctata* (B), *Trigona pallens* (C), *Tetragonisca angustula* (D) e *Melipona quadrifasciata* (E).



Fonte: Lapisibiruba (2021), arquivo fotográfico de Valdemar Schmidt (2020) e Lucas da Silva Campos (2020).

Quanto aos hábitos de nidificação (construção do ninho), estas abelhas apresentam particularidades, como a utilização de cavidades pré-existent em árvores, ninhos abandonados, cavidades no solo e até mesmo galhos de árvores e fendas em rochas. A entrada dos ninhos possui arquitetura e ornamentação única para cada espécie de abelha, distinguindo-as umas das outras e auxiliando na identificação de espécies (Figura 2) (MICHENER, 2013).

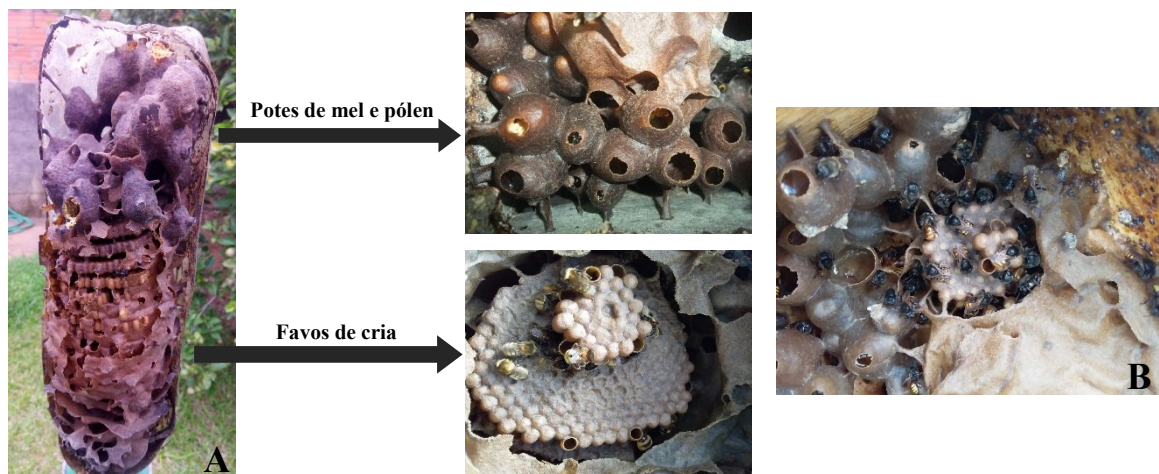
A organização da colmeia, diferentemente das abelhas *Apis mellifera*, é construída separando células de cria, depósitos de polén e alimento. As células de cria são construídas em forma de disco e os depósitos de alimento são armazenados em potes circulares e ovais com 1,5 cm de altura, enquanto que os depósitos de polén são potes cilíndricos ou cônicos com 3 cm de altura, os quais variam conforme a espécie de abelha sem ferrão (Figura 3) (MICHENER, 2013).

Figura 2 - Diferentes entradas de ninho de espécies de abelhas sem ferrão (Meliponini).



Fonte: Bioinsetos (2019)

Figura 3 - Colmeia de abelhas sem ferrão (Meliponini), em tronco de árvore (A) e em caixa (B).



Fonte: Arquivo pessoal de Lucas da Silva Campos (2020) e Valdemar Schmidt (2020).

As abelhas sem ferrão são também conhecidas como abelhas silvestres ou abelhas nativas, isto porque sua ocorrência natural é em regiões tropicais e subtropicais, como o Brasil. Acredita-se que no mundo existam mais de 500 espécies de abelhas sem ferrão, sendo que a maioria delas é encontrada na América do Sul (HRNCIR; JARAU; BARTH, 2016). A Figura 4 mostra a distribuição mundial destas abelhas, onde se percebe a ocorrência por grande parte da América do Sul e África e também partes do sul da Ásia e norte da Austrália.

Figura 4 - Distribuição mundial (cor azul) de abelhas sem ferrão (Meliponini).

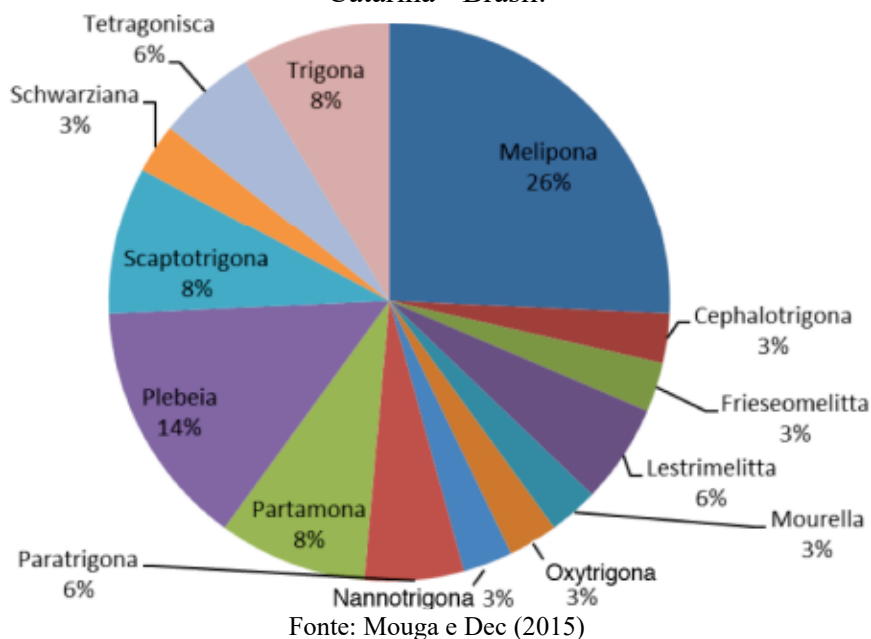


Fonte: Hrncir, Jarau e Barth (2016)

No Brasil, já foram descritas mais de 300 espécies de abelhas sem ferrão, distribuídas em 27 gêneros. A maioria das espécies encontra-se na região amazônica, representando a maior biodiversidade. Porém verifica-se o crescente interesse no manejo destas abelhas em outras regiões do país, como na região Nordeste, em função principalmente da expressiva produção de mel e derivados (VILLAS-BÔAS, 2012). A região Sul também tem se destacado, Moura e Dec (2015) realizaram um estudo de revisão, o qual ilustra a diversidade de abelhas sem ferrão descritas no estado de Santa Catarina. Segundo os autores, o estado constitui um dos últimos lugares que restam com alta diversidade destas abelhas no Brasil, tendo em vista o número de espécies verificadas, em uma perspectiva norte-sul. A Figura 5 mostra as espécies identificadas por diversos autores, segundo Moura e Dec (2015). Porém dados mais detalhados sobre a riqueza de espécies de abelhas sem ferrão no Brasil ainda são escassos.

Questões relacionadas com a variabilidade genética das populações locais, possíveis adaptações regionais, a degradação do habitat e outras influências antropogênicas dificultam o mapeamento da diversidade destas abelhas (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2012).

Figura 5 - Gêneros de abelhas sem ferrão (Meliponini) identificadas no estado de Santa Catarina - Brasil.



Além do mais, o difícil acesso aos habitats naturais das abelhas e a falta de manutenção das suas colônias contribuíram para o atraso no reconhecimento e interesse pelos produtos das abelhas sem ferrão (mel, geoprópolis e cera). Desta forma, todas as informações que norteiam a tribo Meliponini são recentes, tanto em relação às abelhas (comportamento, morfologia, etc) quanto aos produtos fabricados na colmeia (mel, cera, própolis, geoprópolis) (HRNCIR; JARAU; BARTH, 2016).

3.1.1 Meliponicultura

Meliponicultura é o nome atribuído à prática de manejo das abelhas sem ferrão, a qual vem sendo realizada desde os primórdios da civilização antiga. A gestão de colônias de abelhas sem ferrão foi por muito tempo uma questão central de cerimônias indígenas. Porém, com o incentivo de órgãos governamentais, essa realidade tem se modificado, aumentando o interesse na criação destas abelhas pela população em geral (HRNCIR; JARAU; BARTH, 2016).

Neste sentido, existe um grande interesse por parte de produtores rurais. Isso porque as abelhas sem ferrão produzem um mel diferenciado, com sabor e textura inigualável, de alto valor agregado. Segundo os produtores, dependendo da safra, o quilo do mel de abelhas sem ferrão pode custar até 7 vezes mais que o quilo do mel de *Apis mellifera* (atualmente comercializado a R\$ 30,00). Tal valor agregado se dá em decorrência não somente das suas particularidades sensoriais, mas também pelo apelo medicinal, visto que este produto é

reconhecido pelos povos indígenas por suas propriedades benéficas a saúde (anti-inflamatório, antioxidante, antimicrobiano, entre outros). Outro fator que agrega valor ao produto é a baixa produção destes méis pelas abelhas, dependendo da espécie a produção pode variar entre 1 a 5 kg por colmeia/ano, enquanto as abelhas *Apis mellifera* produzem aproximadamente 20 kg por colmeia/ano (AVILA et al., 2018; NORDIN et al., 2018).

Além disso, há uma perspectiva da utilização para fins comerciais de outros produtos particulares produzidos por essas abelhas, como a cera, a própolis e a geoprópolis (JAFFÉ et al., 2015). A geoprópolis, por exemplo, é fabricado somente pelas abelhas sem ferrão, onde as abelhas misturam barro, resinas vegetais e cera, sendo identificado em estudos o seu potencial antioxidante (FERREIRA et al., 2019) e anti-inflamatório (DA CUNHA et al., 2016).

A meliponicultura também é uma atividade economicamente viável, já que é de fácil execução e manutenção, pode ser realizada no meio rural ou urbano, não necessita de altos investimentos e nem mão de obra especializada, uma vez que as abelhas são dóceis e qualquer pessoa poderá manipulá-las, o que tem atraído a atenção de pequenos e médios produtores, como uma alternativa de renda complementar (JAFFÉ et al., 2015).

Diferentemente das abelhas *Apis mellifera*, para as abelhas sem ferrão ainda não existe um padrão de caixa de criação racional. Isso porque devido a grande variabilidade de espécies cada caixa necessita de especificidades. Espécies que têm família grande, como tubuna (*Scaptotrigona bipunctata*), canudo (*Scaptotrigona depilis*) e borá (*Tetragona clavipes*) precisam de caixas maiores, com aproximadamente 30 cm de altura. Outras espécies como mandaçaia (*Melipona quadrifasciata*) necessitam de caixas médias (aprox. 20 cm), enquanto que manduri (*Melipona marginata*), jataí (*Tetragonista angustula*) e irai (*Nannotrigona testaceicornis*), as quais têm famílias menores, a altura da caixa será de aproximadamente 15 cm. Além do mais, algumas espécies constroem naturalmente ninhos subterrâneos, como a *Paratrigona subnuda* (mirim sem brilho). Para estas espécies existe a necessidade de colmeias especiais em câmaras subterrâneas, pois elas não sobrevivem em caixas fora da terra (CELLA; AMANDIO; FAITA, 2017).

Tais pontos dificultam a expansão da cadeia produtiva deste mel, assim como a escassez de dados numéricos de produção, principais abelhas produtoras, unidades processadoras e a falta de conhecimento de quantos produtores exatamente desenvolvem esta atividade. Em estudo realizado por Jaffé et al. (2015), no Brasil, foram identificados 230 produtores de mel e derivados das abelhas sem ferrão em 20 estados, porém este número pode ser ainda maior, visto que muitos vivem em áreas rurais remotas sem acesso a internet e/ou nunca foram registrados por qualquer órgão. Jaffé et al. (2015) também realizaram um

levantamento das principais espécies mantidas por 246 produtores no país, destacando-se *T. angustula*, *M. quadrifasciata*, *Melipona subnitida* e *Melipona scutellaris*, representando o primeiro estudo em grande escala sobre o assunto.

A meliponicultura ainda é uma atividade pouco valorizada e reconhecida, pois além da falta de informações, há pouco incentivo e principalmente a inexistência de uma legislação nacional específica, que regulamente a produção e comercialização do produto. Jaffé et al. (2015) ao questionarem 230 produtores, observaram que mais da metade deles apontaram como principal problema enfrentado na meliponicultura, a falta de legislação e as habilidades de manejo. Outros problemas também apontados foram o desmatamento, a sazonalidade, o dinheiro, as pragas, a motivação, o acesso a colônia e a falta de conhecimento.

Koser, Barbiéri e Franco (2020) discutem a demanda social e ambiental atual da prática de meliponicultura no Brasil. Segundo os autores, o país ainda carece de políticas públicas que estimulem o desenvolvimento de técnicas e tecnologias para a meliponicultura, os quais permitiriam geração de renda aos produtores. Além disso, falta incentivo para a criação das abelhas sem ferrão na sua área natural de ocorrência, de forma a direcionar os produtores para a preservação das espécies, visto que algumas são ameaçadas de extinção. Outro ponto importante é o potencial da meliponicultura na colaboração da redução do desmatamento, com a utilização da biodiversidade genética nativa. Entretanto, o que se vê atualmente é uma divergência de interesses comerciais na maioria dos criadores.

Ademais, a criação, comércio e transporte de abelhas sem ferrão são regulamentados no estado, a partir da Lei nº 16.171 de 14 de novembro de 2013 (SANTA CATARINA, 2013).

Em nível nacional, somente a utilização de abelhas silvestres e a implementação de meliponários são regulamentados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de acordo com a Resolução nº 346, de 16 de agosto de 2004 (BRASIL, 2004).

3.2 MEL

O mel é definido como um produto de origem animal, obtido a partir de abelhas melíferas, que coletam o néctar das flores ou outras secreções procedentes das partes vivas das plantas ou ainda excreções de insetos sugadores de plantas, transformam e combinam com outras substâncias específicas, deixando-o maturar no favo (BRASIL, 2000).

Esse produto pode ser classificado como mel floral ou mel de melato. Quando é obtido do néctar de flores, define-se como mel floral, enquanto o produto obtido a partir de secreções das partes vivas das plantas ou excreções de insetos sugadores de plantas denomina-se mel de

melato. O mel floral pode ser subdividido em unifloral/monofloral, quando é originário de flores da mesma família, gênero e espécie ou multifloral/polifloral, se obtido de diferentes origens florais (BRASIL, 2000).

O mel também pode ser definido como alimento viscoso, aromático e doce, o qual é consumido e apreciado por todo o mundo, principalmente devido a suas propriedades nutricionais e medicinais (DA SILVA et al., 2016).

3.2.1 Legislações

Em virtude da grande influência de diversos fatores na composição do mel (floradas, regiões geográficas, climáticas e espécies de abelhas) parâmetros de identidade e qualidade foram definidos como forma de garantir sua qualidade, evitando adulterações, e designando padrões de identidade para o produto (DA SILVA et al., 2016). Porém, as normativas foram criadas especificamente com base nas características físico-químicas observadas no mel de abelhas *Apis mellifera* e desta forma, méis de outras espécies de abelhas provavelmente estarão em desacordo com a legislação.

Em nível internacional, o *Codex Alimentarius*, a partir da Normativa n°. 12 (CODEX, 2001) regulamenta os méis de *Apis mellifera*, enquanto em nível nacional, este mel é regulamentado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através da Normativa n°. 11 (BRASIL, 2000).

Estas normativas definem parâmetros que auxiliam na padronização e avaliação da qualidade do mel, sendo eles divididos quanto à maturidade (umidade, açúcares redutores e sacarose aparente), pureza (sólidos insolúveis em água, minerais ou cinzas e pólen) e deterioração (acidez livre, atividade de diastase e 5-HMF) (BRASIL, 2000; CODEX, 2001).

Para méis de abelhas sem ferrão ainda não há uma regulamentação única, nacional ou internacional, que garanta a qualidade e identidade do produto. Isto se deve principalmente pela grande diversidade de abelhas sem ferrão, que produzem méis únicos, com características físico-químicas singulares.

No entanto, como forma de minimizar os efeitos da falta de legislação, na produção e comercialização do mel de abelhas sem ferrão e seus derivados, no Brasil, alguns estados conseguiram a regulamentação através de normativas próprias.

O primeiro estado brasileiro a regulamentar os méis de abelhas sem ferrão foi a Bahia, que aprovou em 21 de novembro de 2014 a Portaria n° 207 “Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel de abelha social sem ferrão do gênero *Melipona*” (ADAB, 2014). Seguido

do estado do Amazonas, que aprovou em 31 de outubro de 2016 a Portaria n° 253 “Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel de abelha social sem ferrão” (ADAF, 2016). Posteriormente, o estado do Paraná, aprovou em 10 de março de 2017 a Portaria n° 63 “Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel de abelhas sem ferrão para o estado do Paraná” (ADAPAR, 2017). E no mesmo ano, 06 de outubro, o estado de São Paulo aprovou a Resolução n° 52 “Regulamento técnico de identidade, o padrão de qualidade e os requisitos do processo de beneficiamento do mel, destinado ao consumo humano elaborado pelas abelhas da subfamília Meliponinae (Hymenoptera, Apidae), conhecidas como abelhas sem ferrão” (SÃO PAULO, 2017). E logo depois, o estado do Espírito Santo aprovou em 28 de janeiro de 2019 a Instrução Normativa n° 001 “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel de Abelha sem Ferrão” (IDAF, 2019).

Recentemente, o estado de Santa Catarina, publicou em 04 de novembro de 2020 a Norma Interna Regulamentadora do Mel de Abelhas Sem Ferrão (SAR, 2020), a qual foi desenvolvida pela CIDASC (Compania Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina) em conjunto com o Grupo de Pesquisas em Antioxidantes Naturais, coordenados pelas professoras Roseane Fett e Ana C. O. Costa, o qual tem caracterizado de forma ampla o mel de abelhas sem ferrão de Santa Catarina desde 2012.

Para melhor visualização dos parâmetros e limites adotados por cada legislação estadual, a Tabela 1 apresenta estas informações, comparando as legislações nacional e internacional para o mel de *Apis mellifera*.

Tabela 1 - Parâmetros e limites adotados pelas regulamentações estaduais para méis de abelhas sem ferrão em comparação as legislações internacional e nacional para mel de *Apis mellifera*.

Parâmetros	Méis de <i>Apis mellifera</i>			Méis de abelhas sem ferrão				
	Codex (2001)	Brasil (2000)	Bahia (ADAB, 2014)	Amazonas (ADAF, 2016)	Paraná (ADAPAR, 2017)	São Paulo (2017)	Espírito Santo (IDAF, 2019)	Santa Catarina (SAR, 2020)
Umidade (g 100 g ⁻¹)	Máx. 20,0	Máx. 20,0	Máx. 19,0* 20,0 a 35,0	Máx. 22,0* 23,0 a 35,0	Máx. 20,0* Máx. 35,0	Máx. 20,0* Máx. 40,0	Máx. 20,0* Máx. 40,0	Máx. 20,0* Máx. 40,0
5- HMF (mg kg ⁻¹)	Máx. 40,0	Máx. 60,0	Máx. 10,0	Máx. 40,0	Máx. 40,0	Máx. 20,0	Máx. 20,0	Máx. 40,0
Atividade de diastase (un. Göthe)	Min. 8,0	Min. 8,0	Máx. 3,0	Máx. 3,0	Máx. 40,0	-	-	-
Açúcares redutores (g 100 g ⁻¹)	Min. 65,0	Min. 65,0	Min. 60,0	Min. 50,0	Min. 47,0	Min. 60,0	Min. 60,0	Min. 45,0
Sacarose aparente (g 100 g ⁻¹)	Máx. 5,0	Máx. 6,0	Máx. 6,0	Máx. 6,0	Máx. 5,0	Máx. 6,0	Máx. 6,0	Máx. 6,0
Acidez livre (meq kg ⁻¹)	Máx. 50,0	Máx. 50,0	Máx. 50,0	Máx. 80,0	Máx. 60,0	Máx. 50,0	Máx. 50,0	Máx. 100,0
Cinzas (g 100 g ⁻¹)	Máx. 0,5	Máx. 0,6	Máx. 0,6	Máx. 0,8	Máx. 0,6	Máx. 0,6	Máx. 0,6	Máx. 0,6
Sólidos insolúveis (g 100 g ⁻¹)	-	Máx. 0,1	Máx. 0,1	Máx. 0,1	Máx. 0,1	Máx. 0,1	Máx. 0,1	Máx. 0,1
Condutividade elétrica (mS 100 g ⁻¹)	Máx. 0,8	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	-	-	-	Máx. 4,7	2,9 - 4,5	2,9 - 4,5	2,8 - 4,8
Aa	-	-	-	-	-	0,52 - 0,80	0,52 - 0,80	0,52 - 0,80

*méis desumidificados; (-) valores não estipulados.

3.2.2 Composição química e parâmetros de identidade e qualidade

O mel é um alimento composto majoritariamente por água e açúcares (frutose e glicose principalmente), mas também por uma gama de outras substâncias, que vem sendo identificadas ao longo dos últimos anos, tais como: proteínas (enzimas), ácidos orgânicos, vitaminas, minerais, pigmentos, compostos fenólicos e uma grande variedade de compostos voláteis. A sua composição química, cor, aroma e sabor, no entanto, são influenciados por diversos fatores, como as flores utilizadas na produção, a região geográfica e climática, e também as espécies de abelhas.

Neste sentido, tem se verificado que o mel produzido pelas abelhas sem ferrão apresenta características físico-químicas particulares que diferem do mel comumente produzido pelas abelhas do gênero *Apis* (como elevada umidade e acidez e reduzido teor de açúcares) e uma composição química extremamente variável (AVILA et al., 2018; NORDIN et al., 2018). A composição química variável, pode ser influenciada por micro-organismos presentes na colmeia, os quais trabalhariam em simbiose, auxiliando na maturação e fermentação do produto, dificultando a sua caracterização (MENEZES et al., 2013).

Portanto, a fim de conhecer suas características físico-químicas, a Tabela 2 apresenta uma compilação de estudos que relatam os principais parâmetros de identidade e qualidade de méis de diferentes espécies de abelhas sem ferrão, encontrados em diversos países.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.

	Umidade % (m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
BRASIL									
<i>Melipona scutellaris</i>	23,4 - 45,8	5,1 - 86,2	0,01 - 0,43	0,15 - 0,90	n.d - 55,0	n.d - 23,3	44,6 - 72,8	n.d- 6,2	Biluca et al. (2016); De Sousa et al. (2016); Do Vale et al. (2018); Duarte et al. (2018); Duarte et al. (2012); Evangelista-Rodrigues et al. (2005); Monte et al. (2013); Nascimento et al. (2015); Sousa et al. (2013); Souza et al. (2009).
<i>Melipona subnitida</i>	22,3 - 31,1	22,0 - 59,7	0,02 - 0,52	0,11 - 0,64	n.d - 51,0	n.d - 6,5	50,5 - 75,0	0,85 - 4,9	Almeida-Muradian et al. (2013); De Sousa et al. (2016); Duarte et al. (2018); Duarte et al. (2012); Monte et al. (2013); Nascimento et al. (2015); Silva T. et al. (2013); Sousa et al. (2013).
<i>Tetragonisca angustula</i>	23,0 - 29,0	17,0 - 98,0	0,17 - 0,60	0,57 - 2,70	0,30 - 55,6	<3 - 54,1	44,8 - 70,2	n.d - 4,46	Almeida-Muradian et al. (2013); Anacleto et al. (2009); Biluca et al. (2016); Lira et al. (2014); Nascimento et al. (2015); Oliveira, Ribeiro e Oliveira (2013).
<i>Melipona seminigra</i>	23,0 - 33,1	25,2 - 50,0	0,02 - 0,50	0,55	2,66 - 38,6	n.d - 0,20	43,2 - 74,1	0,2 - 1,6	Almeida-Muradian, Matsuda e Bastos (2007); Nascimento et al. (2015); Silva I. et al. (2013); Souza R. et al. (2004); Vit et al. (2006).

(continua)

(continuação)

	Umidade %(m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
BRASIL									
<i>Melipona quadrifasciata</i>	25,9 - 43,5	14,3 - 106,0	0,06 - 0,58	0,16 - 0,85	n.d - 33,0	n.d - 13,1	52,8 - 83,2	n.d - 7,4	Biluca et al. (2016); Duarte et al. (2018); Duarte et al. (2012); Sousa et al. (2013); Souza et al. (2009).
<i>Melipona compressipes</i>	23,4 - 34,6	14,0 - 85,0	0,01 - 0,40	-	19,8 - 35,8	n.d	62,5 - 73,7	0,08 - 0,80	Almeida-Muradian, Matsuda e Bastos (2007); Monte et al. (2013); Souza R. et al. (2004); Vit et al. (2006).
<i>Melipona mondury</i>	29,6 - 29,9	2,0 - 122,5	0,25	0,51 - 0,84	n.d - 51,4	n.d - 13,5	65,8 - 69,1	n.d - 0,85	Biluca et al. (2016); Lage et al. (2012); Nascimento et al. (2015).
<i>Melipona rufiventris</i>	23,9 - 27,7	1,0 - 52,0	0,2	0,25	n.d	n.d	65,6 - 75,5	n.d	Biluca et al. (2016); Duarte et al. (2018); Lage et al. (2012); Souza R. et al. (2004).
<i>Melipona asilvai</i>	26,8 - 43,8	21,5 - 80,5	0,01 - 0,18	0,29 - 0,87	0,52 - 61,0	2,0	50,6 - 76,2	1,1 - 9,0	Souza B. et al. (2004); Souza et al. (2009).
<i>Melipona mandaçaia</i>	23,4 - 32,5	18,5 - 62,5	0,08-0,09	0,26 - 0,46	0,52 - 60,2	-	74,7 - 76,3	0,4 - 6,2	Alves et al. (2005); Souza et al. (2009).
<i>Melipona bicolor</i>	28,8 - 39,1	48,6 - 139,0	0,18	0,36 - 0,70	n.d - 31,6	n.d - 0,12	57,7 - 68,4	n.d - 0,57	Biluca et al. (2016); Nascimento et al. (2015).
<i>Melipona marginata</i>	28,3 - 38,2	22,6 - 120,0	0,14	0,27 - 0,70	n.d - 48,1	n.d - 0,19	60,5 - 70,5	n.d - 0,85	
<i>Scaptotrigona bipunctata</i>	23,1 - 25,0	37,8 - 56,7	0,79 - 0,88	0,60 - 0,66	4,10 - 5,80	n.d - 4,3	58,1 - 67,8	n.d - 5,5	Biluca et al. (2016); Oliveira e Santos (2011).
<i>Trigona clavipes</i>	19,0 - 25,2	59,0 - 91,2	-	1,01 - 1,04	n.d - 18,0	9,0 - 19,1	48,6 - 72,0	n.d	Biluca et al. (2016); Duarte et al. (2018).
<i>Melipona fasciculata</i>	21,4 - 30,7	4,95 - 42,7	-	-	2,99 - 47,5	-	50,0 - 82,9	0,30 - 6,1	Holanda et al. (2012); Lemos et al. (2018).

(continua)

(continuação)

	Umidade %(m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
BRASIL									
<i>Trigona fuscipennis</i>	34,4	46,7	-	0,31	n.d	n.d	56,6	n.d	Biluca et al. (2016)
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	29,8	28,8	0,21	0,62	58,3	0,62	66,3	1,22	Nascimento et al. (2015)
<i>Cephalotrigona capitata</i>	32,1	34,3	0,19	0,73	35,4	0,18	75,2	0,36	
<i>Scaptotrigona depilis</i>	>25,0	92,1 - 102,1	0,14 - 0,22	-	23,1 - 31,2	-	58,9 - 70,7	n.d	Oliveira, Ribeiro e Oliveira (2013)
<i>Melipona quinquefasciata</i>	28,8	36,9	0,10	-	-	-	64,0	5,8	
<i>Frieseomelitta doederleini</i>	17,3	27,4	1,1	-	-	-	49,1	5,1	
<i>Frieseomelitta flavicornis</i>	27,9	31,6	0,3	-	-	-	49,7	5,9	Sousa et al. (2013)
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>	34,7	64,5	0,6	-	-	-	42,2	10,2	
<i>Melipona flavolineata</i>	32,8 - 36,8	19,8 - 202,6	-	-	1,64 - 63,2	-	53,6 - 61,8	2,24 - 8,36	Lemos et al. (2018)
<i>Plebeia sp.</i>	35,0	125,0	-	1,2	72,0	10,0	72,0	-	Duarte et al. (2018)
<i>Frieseomelitta varia</i>	30,0	28,8	-	1,2	28,9	19,1	75,9	-	
VENEZUELA									
<i>Melipona favosa</i>	22,1 - 32,0	12,7 - 228,8	0,01 - 0,61	0,22 - 2,06	1,0 - 21,5	n.d - 3,5	61,4 - 78,6	0,52 - 5,10	Bogdanov, Vit e Kilchenman (1996); Vit (2008); Vit (2013); Vit, Bogdanov e Kilchenmann (1994); Vit e Pulcini (1996); Vit et al (1998); Vit et al. (2006); Vit et al. (2012).
<i>Melipona compressipes</i>	20,9 - 26,8	33,9 - 94,1	0,16 - 0,48	0,32 - 0,36	1,0	0,7 - 3,0	71,4 - 79,9	1,01 - 1,98	Bogdanov, Vit e Kilchenman (1996); Vit (2008); Vit, Bogdanov e Kilchenmann (1994); Vit e Pulcini (1996).

(continua)

(continuação)

	Umidade %(m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
VENEZUELA									
<i>Tetragonisca angustula</i>	21,1 - 25,9	48,3 - 69,1	0,38 - 0,90	1,26 - 7,32	9,83	16,5-35,6	23,2 - 71,2	1,13 - 2,05	Vit (2009); Vit e Pulcini (1996); Vit et al. (1998).
<i>Melipona trinitatis</i>	22,5 - 27,5	12,9 - 35,3	0,08 - 0,24	0,32	1,0 - 2,0	0,7 - 1,2	71,3 - 78,3	1,09 - 1,66	Bogdanov, Vit e Kilchenman (1996); Vit, Bogdanov e Kilchenmann (1994).
<i>Melipona lateralis</i>	21,1	40,7	0,11	1,65	3,85	2,6 - 3,0	64,8	8,83	Vit e Pulcini (1996); Vit et al. (1998);
<i>Frieseomelitta paupera</i>	25,1	248,5	1,49	2,14	-	-	48,2	12,1	Vit (2009)
<i>Scaura latitarsis</i>	19,3 - 19,5	16,9 - 84,2	0,21 - 0,30	0,24 - 0,66	-	-	65,0 - 65,4	1,32 - 1,34	
<i>Melipona crinita</i>	-	-	-	-	-	3,0	-	-	Vit e Pulcini (1996)
<i>Melipona ebúrnea</i>	-	-	-	-	-	3,4	-	-	
<i>Frieseomelitta nigra</i>	-	-	-	-	-	6,6	-	-	
<i>Scaptotrigona ochrotica</i>	-	-	-	-	-	2,6	-	-	
<i>Melipona paraensis</i>	26,4	30,4	0,14	1,37	3,36	2,90	60,8	1,17	Vit et al. (1998)
COLÔMBIA									
<i>Tetragonisca angustula</i>	20,5 - 24,3	24,0 - 39,2	0,21	n.d - 0,66	1,3 - 10,3	16,7	57,8 - 65,9	n.d	Fuenmayor et al. (2012); Fuenmayor (2013); Torres et al. (2004).
<i>Melipona compressipes</i>	25,8	-	0,09	-	-	-	-	-	Fuenmayor (2013); Zuluaga-Domingues (2013).
<i>Melipona favosa</i>	24,8	-	0,01	-	-	-	-	-	
<i>Melipona ebúrnea</i>	24,8	-	0,01	-	-	-	-	-	Fuenmayor (2013)
<i>Partanoma peckolti</i>	42,7	-	-	-	-	-	40,6	-	
<i>Paratrigona opaca</i>	26,6	-	-	-	-	-	58,1	-	

(continua)

(continuação)

	Umidade %(m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
COLÔMBIA									
<i>Scaptotrigona limae</i>	25,8	-	0,04	-	-	-	67,7	-	Fuenmayor (2013)
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>	27,5	-	-	-	-	-	-	-	
BOLÍVIA									
<i>Melipona brachychaeta</i>	24,9	10,4	0,01	-	-	-	73,4	1,5	
<i>Melipona grandis</i>	24,1	16,0	0,02	-	-	-	72,5	0,9	
<i>Scaptotrigona depilis</i>	26,0	49,4	0,03	-	-	-	67,7	1,0	Ferrufino e Vit (2013)
<i>Scaptotrigona polysticta</i>	26,5	49,1	0,06	-	-	-	67,8	1,0	
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	24,9	34,5	0,09	-	-	-	67,0	n.d	
<i>Tetragonisca fiebrigi</i>	25,1	43,8	0,33	-	-	-	58,6	1,8	
ARGENTINA									
<i>Tetragonisca angustula</i>	23,0 - 24,0	25,0 - 160,0	0,05 - 0,09	0,17 - 0,38	-	-	47,5 - 84,2	n.d - 9,98	Pucciarelli et al. (2014); Sgariglia et al. (2010).
<i>Tetragonisca fiebrigi</i>	22,2 - 27,4	62,3	0,31	-	15,0	34,7	61,0	2,8	Vit et al. (2006); Vit et al. (2009).
<i>Plebeia wittmanni</i>	9,35 - 15,4	45,1 - 190,9	0,09 - 0,23	0,39 - 0,62	-	-	57,2 - 81,9	3,30 - 5,85	Sgariglia et al. (2010)
PARAGUAI									
<i>Tetragonisca fiebrigi</i>	22,4 - 24,6	-	-	-	-	-	-	-	Vit et al. (2009)
MÉXICO									
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	20,6 - 28,0	32,9 - 35,1	0,44 - 0,56	0,23 - 0,40	8,33 - 16,4	-	52,6 - 59,2	-	Jimenez et al. (2016)
<i>Melipona beecheii</i>	21,0 - 25,3	13,0 - 71,3	0,01 - 0,6	-	4,0 - 45,5	-	53,1 - 74,2	-	Moo-Huchin et al. (2015); Ramon-Sierra, Ruiz-Ruiz e Ortiz-Vazquez (2015)

(continua)

(continuação)

	Umidade %(m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
CUBA									
<i>Melipona beecheii</i>	24,0 - 28,6	35,0 - 41,5	0,46	0,58	9,23	1,3	63,4	6,54	Fonte et al. (2013); Alvarez-Suarez et al. (2018).
EQUADOR									
<i>Tetragonisca angustula</i>	23,1 - 25,2	22,5 - 25,2	0,50 - 0,16	-	0,44 - 1,4	-	56,4 - 63,8	1,5 - 2,4	Vit et al. (2016)
GUATEMALA									
<i>Melipona beecheii</i>	17,3 - 27,2	23,2 - 29,7	0,07	0,15	0,1 - 0,12	1,61 - 21,3	-	3,18	Dardon e Enriquez (2008); Gutiérrez et al. (2008).
<i>Melipona solani</i>	19,7 - 23,7	4,95 - 29,2	0,06	0,14	n.d - 0,20	1,60 - 8,31	-	6,76	
<i>Geotrigona acapulconis</i>	32,9	85,5	0,09	-	0,1	2,56	-	-	
<i>Melipona yucatanica</i>	20,4	10,6	0,06	-	0,1	10,0	-	-	
<i>Nannotrigona perilampoides</i>	16,5	9,93	0,33	-	0,1	6,82	-	-	Dardon e Enriquez (2008)
<i>Scaptotrigona mexicana</i>	18,7	12,7	0,10	-	0,2	18,6	-	-	
<i>Tetragonisca angustula</i>	17,5	17,4	0,35	-	0,2	12,3	65,8	4,83	
TAILÂNDIA									
<i>Tetragonula laeviceps</i>	27,5	-	0,33	0,71	0,25	n.d	50,3	19,5	Suntiparapop, Prapaipong e Chantawannakul (2012)
<i>Homotrigona fimbriata</i>	41,0	-	1,0	2,6	46,0	n.d	-	n.d	
<i>Lepidotrigona terminata</i>	30,0	-	0,25	0,78	n.d	0,29	-	n.d	
<i>Lepidotrigona flavibasis</i>	28,0	-	0,51	1,3	8,5	3,1	-	n.d	
<i>Lepidotrigona doipaensis</i>	31,0 - 32,0	-	0,36 - 0,66	0,89 - 1,5	n.d - 2,3	1,5 - 1,7	-	n.d	Chuttong et al. (2016)
<i>Lisotrigona furva</i>	27,0 - 29,0	-	0,04 - 0,33	0,33 - 0,37	n.d - 0,22	n,d	-	n.d - 6,0	
<i>Tetragonilla collina</i>	28,0	-	0,25	0,44	5,9	0,34	-	n.d	

(continua)

(conclusão)

	Umidade %(m/m)	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	Cinzas (g 100 g ⁻¹)	CE (mS 100 g ⁻¹)	5-HMF (g 100 g ⁻¹)	Diastase (un. Göthe)	AR (g 100 g ⁻¹)	Sacarose (g 100 g ⁻¹)	Referências
TAILÂNDIA									
<i>Tetragonula fuscobalteata</i>	25,0 - 27,0	-	0,48 - 0,87	1,3 - 1,4	n.d - 22	n.d - 4,7	-	n.d	
<i>T. laeviceps - pagdeni</i>	28,0	-	0,22	0,59	5,4	0,63	-	n.d - 0,03	
<i>Tetragonula testaceitarsis</i>	29,0 - 32,0	-	0,27	0,52 - 0,67	2,4 - 3,5	n.d - 0,22	-	n.d	Chuttong et al. (2016)
<i>Tetrigona apicalis</i>	37,0 - 47,0	-	1,0 - 1,8	2,1 - 3,1	0,26	n.d - 4,9	-	n.d	
<i>Tetrigona melanoleuca</i>	43,0	-	3,1	2,8	28	0,15	-	n.d	
MALÁSIA									
<i>Heterotrigona itama</i>	19,5 - 33,4	64,5 - 207,7	0,01 - 0,67	1,08	n.d - 18,9	2,2	25,0 - 55,6	n.d - 32,3	Bakar et al. (2017); Kek et al. (2017a); Kek et al. (2017b); Se et al. (2018); Selvaraju et al. (2019); Shamsudin et al. (2019).
<i>Geniotrigona thoracica</i>	21,3 - 33,9	102 - 170,5	0,07 - 0,24	-	n.d	-	44,9 - 90,0	n.d - 15,0	Bakar et al. (2017); Selvaraju et al. (2019); Shamsudin et al. (2019).
AUSTRÁLIA									
<i>Trigona carbonaria</i>	25,3 - 27,5	94,0 - 257,8	0,37 - 0,56	1,33 - 1,69	3,9 - 33,2	n.d - 1,7	36,1 - 50,1	0,9 - 2,2	Oddo et al. (2008); Vit et al. (2006).
<i>Austroplebeia symei</i>	23,6	45,0	0,90	-	21,6	1,3	61,2	2,6	Vit et al. (2006)

(-): não avaliado; n.d: não detectado; CE: condutividade elétrica; 5-HMF: 5-hidroxi metilfurfural; AR: açúcares redutores.

Fonte: próprio autor

3.2.2.1 Umidade

A água é o segundo constituinte mais abundante nos méis e seu conteúdo está relacionado a maturidade deste produto. O teor máximo de umidade observado para os méis de abelhas sem ferrão (Tabela 2) foi para o mel de de *Tetrigona apicalis* (Tailândia) com 47% (m/m) (CHUTTONG et al., 2016), seguido de méis provenientes do Brasil, *M. scutellaris*, *Melipona asilvai* e *M. quadrifasciata*, com 45,8, 43,8 e 43,5% (m/m) (SOUZA et al., 2009; BILUCA et al., 2016; DO VALE et al., 2018), respectivamente. É possível verificar que, em geral, os méis de abelhas sem ferrão apresentam umidade acima de 20% (m/m), que é o teor máximo permitido para méis de *Apis mellifera*, segundo legislações vigentes (BRASIL, 2000; CODEX, 2001). Somente algumas exceções puderam ser observadas, apresentando valores inferiores a 20% (m/m), como o mel de *Frieseomelitta doederleini* e *T. clavipes* (Brasil) (17,3; 19,0% m/m, respectivamente) (SOUSA et al., 2013; DUARTE et al., 2018); *Scaura latitarsis* (Venezuela) (19,3 - 19,5% m/m) (VIT, 2009); *Plebeia wittmanni* (Argentina) (9,35 - 15,4% m/m) (SGARIGLIA et al., 2010); *Heterotrigona itama* (Malásia) (19,5% m/m) (SHAMSUDIN et al., 2019); e *Melipona beecheii*, *Melipona solani*, *Nannotrigona perilampoides*, *Scaptotrigona mexicana* e *T. angustula* (Guatemala) (17,3; 19,7; 16,5; 18,7 e 17,5% m/m, respectivamente) (DARDON; ENRIQUEZ, 2008; GUTIÉRREZ et al., 2008).

Sabe-se que o teor de umidade do mel depende da temperatura e da umidade relativa do ambiente durante sua produção (DA SILVA et al., 2016). No entanto, méis de abelhas sem ferrão apresentam teores bem variáveis, uma vez que fatores como a espécie produtora, florada e época de colheita também irão influenciar nestes conteúdos (AVILA et al., 2018; NORDIN et al., 2018).

O estudo realizado por Biluca et al. (2016) em méis provenientes do Brasil, onde foi analisada uma grande quantidade de amostras, com diversidade de floradas e regiões geográficas, constatou que os méis provenientes de mesma região geográfica, mas de espécie, florada e ano de colheita distintos apresentam teores de umidade extremamente diferentes. Acredita-se que a elevada umidade apresentada por estes méis, possa estar relacionada principalmente ao número de indivíduos da colméia, o que interferirá no processo de desidratação do néctar durante a maturação do mel. Além disso, a coleta do néctar de flores rasteiras e frutos maduros, bem como o ambiente tropical úmido podem contribuir (VIT, 2013).

3.2.2.2 Acidez livre

A acidez livre no mel é um parâmetro especialmente importante, pois está relacionado ao controle da sua deterioração. Valores elevados de acidez livre podem indicar que o mel passou por processo de fermentação, onde os açúcares presentes foram convertidos em ácidos orgânicos pela ação das leveduras. Assim como o seu armazenamento prolongado e temperaturas elevadas, originando o composto 5-HMF, que em reações sucessivas poderá formar ácidos orgânicos e elevar a acidez livre (DA SILVA et al., 2016).

Desta forma, para méis de *Apis mellifera*, as regulamentações nacional e internacional (BRASIL, 2000; CODEX, 2001) admitem um valor máximo de 50 mEq kg⁻¹. Porém, os méis de abelhas sem ferrão, como se pode verificar na Tabela 2, na maioria das vezes, apresentam valores superiores a esse. Em destaque as amostras provenientes do Brasil e da Venezuela, onde mais de 70% das amostras avaliadas desses países apresentaram valores máximos de acidez livre acima de 50 mEq kg⁻¹. No Brasil, o mel da espécie *Melipona flavolineata* foi a que apresentou o maior valor (202 mEq kg⁻¹) (LEMOS et al., 2018), enquanto na Venezuela o valor mais elevado foi observado para mel da espécie *Frieseomelitta paupera* com 248,5 mEq kg⁻¹ (VIT, 2009). Amostras de outros países também apresentaram valores elevados, como é o caso do mel da Argentina da espécie *P. wittmanni* (190,6 mEq kg⁻¹) (SCARIGLIA et al., 2010); da Malásia da espécie *H. itama* (207,7 mEq kg⁻¹) (SHAMSUDIN et al., 2019); e o mel da Austrália da espécie *Trigona carbonaria* (156,2 mEq kg⁻¹) (ODDO et al., 2008).

Apesar dos valores elevados de acidez encontrados nessas amostras, nota-se que outros parâmetros utilizados para verificação da deterioração do mel, como o 5-HMF, estão, de maneira geral, com o conteúdo abaixo do que é preconizado como limite máximo pelas legislações vigentes para mel de *Apis mellifera*. Assim, supõe-se que esta seja uma característica particular do mel de abelhas sem ferrão e que as variações observadas podem ser em decorrência das diferentes fontes de néctar, uma vez que estas abelhas têm um perfil diferente de coleta das abelhas *Apis mellifera*, o que irá resultar possivelmente em uma diversidade de ácidos orgânicos. Além disso, essas variações podem estar relacionadas à atividade enzimática da glicose-oxidase distinta entre as espécies produtoras do mel, que originará mais ou menos ácido glucônico (OLIVEIRA; SANTOS, 2011), ou ainda pela ação de microrganismos que atuam em simbiose dentro da colméia, gerando esses ácidos (CAMBRONERO-HEINRICHS et al., 2019; MENEZES et al., 2013).

3.2.2.3 Cinzas e condutividade elétrica

A determinação de cinzas e condutividade elétrica são parâmetros essenciais para a autenticidade do mel. O teor de cinzas está relacionado ao teor e perfil mineral, os quais podem indicar sua origem geográfica. Além de estar relacionado ao teor de cinzas, a condutividade elétrica também revela a presença de íons, ácidos orgânicos e proteínas, auxiliando na distinção de méis florais e melato (DA SILVA et al., 2016). O regulamento internacional não estabelece limites para a determinação de cinzas, porém a legislação brasileira (BRASIL, 2000) determina teor máximo de 0,60 g 100 g⁻¹. Para condutividade elétrica, a legislação internacional (CODEX, 2001) exige que méis florais de *Apis mellifera* tenham no máximo 0,80 mS 100 g⁻¹, enquanto méis de melato, devido à sua maior condutividade elétrica, devem ter um valor mínimo de 0,80 mS 100 g⁻¹.

Em geral, os valores encontrados para os méis de abelhas sem ferrão (Tabela 2), em ambos os parâmetros (cinzas e condutividade elétrica) estão de acordo com o que é preconizado pelas legislações vigentes de méis de *Apis mellifera*. Algumas exceções puderam ser observadas, com valores acima do máximo estipulado: para cinzas, méis brasileiros de *S. bipunctata* (BILUCA et al., 2016; OLIVEIRA; SANTOS, 2011) e *F. doederleini* (SOUSA et al., 2013) apresentaram de 0,79 a 0,88 e 1,1 g 100 g⁻¹, respectivamente; méis venezuelanos de *T. angustula* e *F. paupera* (VIT, 2009) apresentaram 0,90 e 1,1 g 100 g⁻¹, respectivamente; enquanto que méis tailandeses de *Homotrigona fimbriata*, *Tetragonula fuscobalteata* e *T. apicalis* (CHUTTONG et al., 2016) apresentaram valores entre 0,87 e 1,8 g 100 g⁻¹; e méis australianos de *Austroplebeia symei* (VIT et al., 2006) apresentaram 0,90 g 100 g⁻¹.

Para condutividade elétrica, foi verificado que em méis brasileiros, os valores acima do permitido, ficaram entre 0,84 (*M. mondury*) (BILUCA et al., 2016) e 2,7 mS 100 g⁻¹ (*T. angustula*) (ANACLETO et al., 2009); em méis venezuelanos entre 1,26 e 7,32 mS 100 g⁻¹ (*T. angustula*) (VIT et al., 1998); méis tailandeses entre 0,89 (*Lepidotrigona doipaensis*) e 2,8 mS 100 g⁻¹ (*Tetrigona melanoleuca*) (CHUTTONG et al., 2016); méis da Malásia com 1,08 mS 100 g⁻¹ (*H. itama*) (KEK et al., 2017b) e méis da Austrália com 1,33 a 1,69 mS 100 g⁻¹ (*T. carbonaria*) (ODDO et al., 2008). Desta forma, pode-se sugerir que os limites propostos pelas atuais legislações vigentes poderiam ser utilizados também aos méis de abelhas sem ferrão, visto que, os resultados encontrados assemelham-se ao mel de *Apis mellifera*.

3.2.2.4 5-Hidroxiacetilfurfural (5-HMF)

Este é um parâmetro utilizado na detecção de adulteração, condição de armazenamento e verificação da qualidade do mel. O composto 5-HMF é formado pela decomposição de monossacarídeos ou pela reação de Maillard, quando o mel é aquecido ou armazenado por longos períodos, ou então quando adicionado de açúcares invertidos, pois o 5-HMF também pode ser formado no processo de inversão da sacarose, devido ao aquecimento dos açúcares na presença de um ácido (DA SILVA et al., 2016). Assim, a regulamentação brasileira para mel de *Apis mellifera* determina valor máximo de 60,0 mg kg⁻¹ (BRASIL, 2000), enquanto a regulamentação internacional estabelece máximo de 80,0 mg kg⁻¹ (CODEX, 2001) para méis de *Apis mellifera* provenientes de regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil.

Os valores obtidos para 5-HMF em méis de abelhas sem ferrão, expostos na Tabela 2, mostram que esse mel, mesmo sendo encontrado somente em regiões de clima tropical e subtropical, não excede o valor de 60,0 mg kg⁻¹. Destaca-se ainda que a maioria das amostras avaliadas apresentam valores abaixo de 40,0 mg kg⁻¹ e muitas vezes o composto 5-HMF não foi detectado. Biluca et al. (2014) sugerem que o mel de abelhas sem ferrão possui resistência a formação de 5-HMF, devido possivelmente a menor atividade de água e conteúdo de glicose. Fatores estes que influenciam na velocidade da reação de Maillard e consequente formação deste composto.

Estudos têm verificado ainda a ausência de 5-HMF em concentrações detectáveis nos méis de abelhas sem ferrão brasileiras, das espécies *Melipona bicolor* (BRAGHINI et al., 2019) e *Melipona fasciculata* (RIBEIRO et al. 2018) e mel argentino da espécie *Tetragonisca fiebrigi* (SCHVEZOV et al., 2020), e também uma menor formação do composto, quando comparado a méis de *Apis mellifera* (BILUCA et al., 2014). Durante o armazenamento, a mesma tendência pode ser verificada em alguns estudos, que mostram níveis de 5-HMF abaixo de 50 mg kg⁻¹ após 12 meses a 24 °C para mel de abelhas sem ferrão brasileiro de *Melipona subnitida* (ALMEIDA-MURADIAN; STRAMM; ESTEVINHO, 2014), mel mexicano de *Scaptotrigona mexicana* (JIMENEZ et al., 2016) e mel argentino de *Tetragonisca fiebrigi* (SCHVEZOV et al., 2020) e 55 mg kg⁻¹ após 90 dias a 45 °C para o mel de *Scaptotrigona mexicana*, do México (JIMENEZ et al., 2016).

No entanto, apesar do indicativo de menor formação de 5-HMF, comparado à literatura de mel de *Apis mellifera* sob condições de aquecimento e armazenamento prolongado (ADNAN; CHUA; SARMIDI, 2014; CHAIKHAMA; KEMSAWASD; APICHARTSRANGKON, 2016; KOWALSKI, 2013; HASAN, 2013; MOREIRA et al.,

2007), também existe relato na literatura de aumento expressivo do nível de 5-HMF em méis de abelhas sem ferrão de *Tetragonula laeviceps-pagdeni* da Malásia, quando armazenados por 12 meses a 30 °C, que ultrapassam 400 mg kg⁻¹ (CHUTTONG et al., 2016).

Neste contexto, a avaliação de 5-HMF em méis de abelhas sem ferrão de diferentes espécies, após tratamento térmico e armazenamento apresentam-se como demandas, considerando os poucos estudos disponíveis na literatura, as condições de armazenamento e aquecimento empregadas, além da composição química diferenciada destes méis que podem favorecer sua formação.

3.2.2.5 Atividade de diastase

As enzimas diastases (α - e β -amilases), presentes no mel, são responsáveis pela atividade diastásica, e tem como função digerir a molécula de amido em uma mistura de maltose e maltotriose. Devido a sua característica termolábil, são capazes de indicar o superaquecimento do produto e grau de conservação (DA SILVA et al., 2016). Por isso, as regulamentações nacional e internacional (BRASIL, 2000; CODEX, 2001) determinam que o mel de *Apis mellifera* deva apresentar no mínimo 8 unidades Göthe, contudo, se o conteúdo de 5-HMF no mel não ultrapassar 15 mg kg⁻¹, tolera-se um mínimo de 3 unidades Göthe.

Em méis de abelhas sem ferrão, os estudos reportados na Tabela 2, mostram que a maioria dos méis apresenta atividade de diastase inferior a 8 un. Göthe, sendo muitas vezes obtidos valores menores que 3 un. Göthe, como é o caso dos méis em que não foi detectado atividade. Sendo assim, este parâmetro, pode não representar a deterioração do mel de abelhas sem ferrão, uma vez que mesmo méis recém colhidos podem apresentar nível reduzido de atividade de diastase (BILUCA et al., 2016; CHUTTONG et al., 2016; VIT et al., 2006). Esta característica pode estar associada ainda às diferentes cargas ácidas encontradas nestes méis, pois as enzimas α - e β -amilases tem pH ótimo entre 4,5 e 6,0, o que pode influenciar sua atividade. No entanto, algumas exceções foram encontradas, como o mel de *T. angustula*, proveniente do Brasil e da Venezuela (54,1 e 35,6 un. Göthe, respectivamente) (BILUCA et al., 2016; VIT; PULCINI, 1996), os quais apresentaram os maiores valores, seguido do mel de *Tetragonisca fiebrigi* (Argentina) (34,7 un. Göthe) (VIT et al., 2006).

3.2.2.6 Açúcares

Os açúcares são os compostos responsáveis por conferir algumas das principais características do produto, como viscosidade, higroscopicidade, granulação e valor energético. O mel é composto majoritariamente por monossacarídeos, dentre eles destacam-se frutose e glicose, que representam cerca de 75% dos açúcares observados no mel, além de uma pequena parcela de dissacarídeos (geralmente 10 a 15%) e porções ínfimas de outros açúcares (DA SILVA et al., 2016).

Como forma de avaliar a maturidade do mel, impedindo a comercialização do mel armazenado por um período prolongado ou colhido prematuramente, o regulamento atual nacional e internacional (BRASIL, 2000; CODEX, 2001) determinam que o mel de *Apis mellifera* deva conter no mínimo 65 g 100 g⁻¹ e 60 g 100 g⁻¹, respectivamente, de açúcares redutores. No entanto, méis de abelha sem ferrão, mesmo maduros, adequados para a colheita, têm concentrações inferiores ao estabelecido por essas regulamentações. O conteúdo de açúcares redutores, mostrado na Tabela 3, demonstram que a maioria dos méis avaliados apresentam valores mínimos abaixo de 60 g 100 g⁻¹. É possível verificar que os valores mínimos encontrados variam de 23,2 g 100 g⁻¹ (*T. angustula*, Venezuela) (VIT et al., 1998) a 75,9 g 100 g⁻¹ (*Frieseomelitta varia*, Brasil) (DUARTE et al., 2018). Tais variações podem ser provenientes justamente das características distintas destes méis, como o elevado teor de umidade em alguns casos, ou a presença de outros açúcares não estudados.

Além dos açúcares redutores, a sacarose também é utilizada na avaliação da maturidade do mel, onde teores elevados sugerem uma colheita prematura do produto, em que a sacarose não foi totalmente transformada em glicose e frutose, pela ação da enzima invertase (DA SILVA et al., 2016). Assim, os regulamentos nacional e internacional (BRASIL, 2000; CODEX, 2001) determinam que o mel de *Apis mellifera* deva apresentar no máximo 6 e 5 g 100 g⁻¹, respectivamente, de sacarose. Para méis de abelhas sem ferrão, é possível verificar uma grande variação, onde enquanto alguns estudos não detectam sacarose, como é o caso de Biluca et al. (2016) e Duarte et al. (2018) para méis do Brasil; Shamsudin et al. (2019) para méis da Malásia; e Chuttong et al. (2016) para méis da Tailândia; outros estudos encontraram valores superiores a 6 g 100 g⁻¹, com 10,2 g 100 g⁻¹ (*N. testaceicornis* - Brasil) (SOUSA et al., 2013), 12,1 g 100 g⁻¹ (*F. paupera* - Venezuela) (VIT, 2009), 19,5 g 100 g⁻¹ (*Tetragonula laeviceps* - Tailândia) (SUNTIPARAPOP; PRAPAIPONG; CHANTAWANNAKUL, 2012) e 32,3 g 100 g⁻¹ (*H. itama* - Malásia) (KEK et al., 2017a). Portanto, acredita-se que tanto a baixa quantidade de açúcares redutores quanto o elevado teor de sacarose nos méis de abelhas sem

ferrão são uma característica particular de cada mel, onde os fatores associados a isso ainda não foram esclarecidos.

Quanto ao perfil de açúcares, é verificado que em méis de abelhas sem ferrão, diferentemente do mel produzido pelas abelhas *Apis mellifera*, no qual não há grandes variações nas concentrações de frutose e glicose, o conteúdo de frutose pode variar de 6,0 (*T. melanoleuca*, Tailândia) (CHUTTONG et al., 2016) a 59,2 g 100 g⁻¹ (*M. subnitida*, Brasil) (SOUSA et al., 2016) e para glicose de 4,1 (*T. apicalis*, Tailândia) (CHUTTONG et al., 2016) a 45,0 g 100 g⁻¹ (*M. subnitida*, Brasil) (SOUSA et al., 2016), conforme dados mostrados na Tabela 3. Além de frutose e glicose, outros açúcares, como o monossacarídeo arabinose, os dissacarídeos maltose, turanose e trealose e o trissacarídeo erlose já foram quantificados em alguns méis de abelhas sem ferrão e são apresentados na Tabela 4.

Até o momento, foi possível observar que poucos estudos identificaram outros açúcares minoritários em méis de abelhas sem ferrão. O estudo de Chuttong et al. (2016), com méis da Malásia (*Lepidotrigona terminata*, *Lepidotrigona flavibasis* e *T. laeviceps-pagdeni*), e o de Shamsudin et al. (2019) (*Geniotrigona thoracica* e *H. itama*) e Tuksitha et al. (2018) (*G. thoracica*, *H. itama*, *Heterotrigona erythrogastra*) com méis da Tailândia, constataram que estes méis apresentaram maltose em concentrações superiores aos teores de frutose e glicose, sendo nestes méis o açúcar majoritário.

Da mesma forma que Oddo et al. (2008) e Bogdanov, Vit e Kilchenmann (1996) ao estudarem méis da Austrália (*T. carbonária*) e da Venezuela (*Frieseomellita* sp.), respectivamente, também observaram valores elevados de maltose. É possível sugerir que a presença elevada de maltose nestes méis seja proveniente de uma baixa atividade enzimática de maltase, que é a enzima responsável por hidrolisar a maltose, originando duas moléculas de glicose (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

Tabela 3 - Concentrações (g 100 g⁻¹) de frutose e glicose de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.

País	Espécie	Frutose	Glicose	Referências
Brasil	<i>M. compressipes</i>	30,7 - 32,0	28,6 - 29,4	Almeida-Muradian; Matsuda (2007)
	<i>M. seminigra</i>	31,7 - 31,9	29,5 - 29,8	
	<i>M. bicolor</i>	31,5 - 34,7	26,2 - 29,5	Biluca et al. (2016)
	<i>S. bicunctata</i>	31,1 - 40,2	27,1 - 27,3	
	<i>M. quadrifasciata</i>	30,4 - 39,4	24,1 - 31,3	
	<i>M. marginata</i>	33,4 - 40,5	26,4 - 29,9	
	<i>T. angustula</i>	36,1 - 46,1	21,2 - 24,1	
	<i>M. mondury</i>	36,4 - 38,9	29,5 - 30,1	
	<i>M. rufiventris</i>	35,6	30,1	
	<i>T. clavipes</i>	40,2	8,21	Biluca et al. (2016); Sousa et al. (2016)
	<i>T. fuscipennis</i>	36,2	20,4	
		<i>M. scutellaris</i>	36,4 - 57,6	26,3 - 43,3
	<i>M. subnitida</i>	29,2 - 59,2	21,8 - 45,7	Almeida-Muradian et al. (2013); Sousa et al. (2016)
Colômbia	<i>Frieseomelitta</i> sp.	17,1	12,6	Fuenmayor et al. (2013)
	<i>N. testaceicornis</i>	40,1	25,7	
	<i>Nannotrigona</i> sp.	33,1	17,7	
	<i>P. opaca</i>	30,9	27,2	
	<i>P. peckolti</i>	26,6	14,0	
	<i>Partamona</i> sp.	29,0	9,3	
	<i>Plebeia</i> spp.	17,4	19,3	
	<i>S. limae</i>	39,0	28,7	
	<i>Scaptotrigona</i> sp.	31,8	23,9	Fuenmayor et al. (2013); Zuluaga-Dominguez et al. (2013)
	<i>M. compressipes</i>	36,9	34,2	
	<i>M. favosa</i>	38,7 - 39,3	33,5	
	<i>M. ebúrnea</i>	39,3	38,5	
	<i>Melipona</i> sp.	36,7 - 36,9	30,5 - 30,9	
	<i>Tetragona</i> sp.	31,8	29,0	Fuenmayor et al. (2013); Torres et al. (2004); Fuenmayor; Zuluaga-Dominguez; Díaz-Moreno(2012)
	<i>T. angustula</i>	30,1 - 37,6	23,5 - 31,8	
Venezuela	<i>M. compressipes</i>	36,6	36,3	Bogdanov; Vit; Kilchenmann (1996)
	<i>M. trinitatis</i>	36,8	36,9	
	<i>M. favosa</i>	34,8	36,9	
	<i>Frieseomellita</i> sp.	24,4	18,1	
Argentina	<i>T. angustula</i>	39,9	22,0	Sgariglia et al. (2010)
	<i>P. wittmanni</i>	45,0	21,8	
Guatemala	<i>M. beecheii</i>	31,8	37,6	Gutiérrez et al. (2008)
	<i>M. solani</i>	30,2	31,9	
Tailândia	<i>T. laeviceps</i>	25,3 - 28,8	20,1 - 21,4	Suntiparapop; Prapaipong; Chantawannakul (2012); Chuttong et al. (2016)
	<i>H. fimbriata</i>	7,4	15,0	Chuttong et al. (2016)
	<i>L. terminata</i>	8,1	4,9	
	<i>L. flavibasis</i>	16,0	13,0	
	<i>L. doipaensis</i>	9,0 - 15,0	9,8 - 14,0	
	<i>L. furva</i>	33,0 - 34,0	25,0 - 28,0	
	<i>T. collina</i>	26,0	26,0	
	<i>T. fuscobalteata</i>	19,0 - 23,0	4,4 - 19,0	
	<i>T. l.-pagdeni</i>	17,0	12,0	
	<i>T. testaceitarsis</i>	15,0 - 29,0	11,0 - 27,0	
	<i>T. apicalis</i>	6,7 - 6,8	4,1 - 7,7	
<i>T. melanoleuca</i>	6,0	8,9		
Malásia	<i>H. itama</i>	9,68 - 15,8	8,14 - 11,7	Kek et al. (2017a); Shamsudin et al. (2019)
	<i>G. thoracica</i>	7,89 - 9,34	6,95 - 11,2	Shamsudin et al. (2019)
Austrália	<i>T. carbonária</i>	21,8 - 27,4	14,3 - 22,7	Oddo et al. (2008)

Fonte: próprio autor

Tabela 3 - Concentração (% m/m) de maltose, arabinose, turanose, trealose e erlose em méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.

País	Espécie	Maltose	Arabinose	Turanose	Trealose	Erlose	Referências
Brasil	<i>M. subnitida</i>	n.d	n.d - 1,0	-	-	-	Sousa et al. (2016)
	<i>M. scutellaris</i>	n.d	0,2 - 0,7	-	-	-	
Venezuela	<i>M. compressipes</i>	3,2	-	0,1	n.d	0,1	Bogdanov; Vit; Kilchenmann (1996)
	<i>M. trinitatis</i>	2,5	-	0,2	n.d	n.d	
	<i>M. favosa</i>	2,8	-	0,1	n.d	n.d	
	<i>Frieseomellita sp.</i>	32,3	-	0,4	0,2	0,5	
Tailândia	<i>T. laeviceps</i>	n.d	-	-	-	-	Chuttong et al. (2016)
	<i>H. fimbriata</i>	53,0	-	-	-	-	
	<i>L. terminata</i>	39,0	-	-	-	-	
	<i>L. flavibasis</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>L. doipaensis</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>L. furva</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>T. collina</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>T. fuscobalteata</i>	37,0	-	-	-	-	
	<i>T. l.-pagdeni</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>T. testaceitarsis</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>T. apicalis</i>	n.d	-	-	-	-	
	<i>T. melanoleuca</i>	41,0	-	-	-	-	
Austrália	<i>T. carbonaria</i>	15,3 - 22,8	-	-	-	-	Oddo et al. (2008)
Guatemala	<i>M. beecheii</i>	8,30	-	-	-	-	Gutiérrez et al. (2008)
Malásia	<i>H. itama</i>	9,7 - 54,3	-	-	-	-	Se et al. (2018); Shamsudin et al. (2019); Tuksitha et al. (2018).
	<i>H. erythrogastra</i>	42,2	-	-	-	-	Tuksitha et al. (2018)
	<i>G. thoracica</i>	28,9 - 43,1	-	-	-	-	Shamsudin et al. (2019); Tuksitha et al. (2018)

(-): não avaliado; n.d: não detectado.

Fonte: próprio autor

3.2.2.7 Proteínas e aminoácidos

As proteínas no mel são provenientes principalmente do pólen coletado pelas abelhas. O seu conteúdo, portanto, é muito variável e outros fatores como a espécie de abelha, néctar das flores e secreções das glândulas salivares e faringe das abelhas podem influenciar na quantidade de proteínas e aminoácidos. Estudos indicam que o mel produzido pelas abelhas *Apis mellifera* contém entre 0,2 e 1,6% de proteínas (DA SILVA et al., 2016). Já o mel de abelhas sem ferrão, como pode-se visualizar na Tabela 5, pode conter de 0,04 a 1,8%, dependendo da espécie de abelha produtora e também da localidade de produção.

Tabela 4 - Conteúdo de proteínas em méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.

País	Espécies	Proteínas (g 100 g ⁻¹)	Referências
Brasil	<i>M. compressipes</i>	0,1 - 0,8	Souza R. et al. (2004); Sousa et al. (2013)
	<i>M. rufiventris</i>	0,4	Souza R. et al (2004)
	<i>M. seminigra</i>	0,4	
	<i>M. scutellaris</i>	0,04 - 1,8	Sousa et al. (2013); Souza et al. (2009); Sousa et al. (2016); Do Vale et al. (2018)
	<i>M. subnitida</i>	0,2 - 0,9	Sousa et al. (2013); Sousa et al. (2016)
	<i>N. testaceicornis</i>	1,7	Sousa et al. (2013)
	<i>M. quinquefasciata</i>	0,3	
	<i>Scaptotrigona</i> sp.	0,4	
	<i>M. quadrifasciata</i>	0,08- 0,6	Sousa et al. (2013); Souza et al. (2009)
	<i>F. flavicornis</i>	0,1	Sousa et al. (2013)
	<i>F. doederleini</i>	n.d	
	<i>T. angustula</i>	0,3 - 0,6	Anacleto et al. (2009)
	<i>M. asilvai</i>	0,08 - 0,8	Souza et al. (2009)
	<i>M. mandaçaia</i>	0,09 - 0,3	
<i>Melipona</i> sp.	0,17 - 0,29	Do Vale et al. (2018)	
Malásia	<i>H. itama</i>	0,25 - 0,8	Bakar et al. (2017); Kek et al. (2017a)
	<i>G. thoracica</i>	0,01	Bakar et al. (2017)
Tailândia	<i>T. laeviceps</i>	0,3	Chanchao (2009)

n.d: não detectado.

Fonte: próprio autor

Atualmente a determinação de proteínas no mel não é um parâmetro obrigatório segundo as resoluções internacional e nacional (BRASIL, 2000; CODEX, 2001). Dessa forma, não há critérios há serem seguidos quanto à metodologia que deverá ser utilizada para tal determinação. A Tabela 5 apresenta resultados referentes ao conteúdo de proteínas em méis de abelhas sem ferrão, segundo a metodologia descrita por Kjeldahl (1883). Porém outros estudos como Duarte et al. (2012), com méis de abelhas sem ferrão do Brasil (*M. scutellaris*, *M. quadrifasciata*, *M. subnitida* e *Plebeia* sp.) e Rodríguez-Malaver et al. (2009) (*Melipona crinita*, *Melipona ebúrnea*, *Melipona grandis*, *Melipona illota*, *Nannotrigona melanocera*, *Partamona epiphytophila*, *Ptilotrigona lúrida*, *Scaptotrigona polystica*, *S. latitarsis* e *T. angustula*) com méis provenientes do Peru, utilizaram metodologia descrita por Lowry et al. (1951), e obtiveram valores inferiores a 0,01 g 100 g⁻¹. Enquanto Lira et al. (2014) determinaram o conteúdo de proteínas em méis brasileiros de *Scaptotrigona* sp. e *T. angustula* utilizando método de Bradford (1976), onde os resultados foram expressos em mg de

equivalentes de albumina sérica bovina (ASB) por 100 g⁻¹, obtendo-se entre 80,1 e 202,9 mg ABS 100 g⁻¹.

Além disso, a especificação de aminoácidos, especialmente prolina, pode ser útil na avaliação da maturidade do mel, e em alguns casos também, na identificação de adulteração com açúcar (HERMOSÍN; CHICÓN; CABEZUDO, 2003). Assim, para mel de *Apis mellifera* recomenda-se um valor mínimo de 180 mg kg⁻¹ de prolina para mel puro. Em méis de abelhas sem ferrão, poucos são os estudos que avaliaram, até o momento, o conteúdo de prolina. Sousa et al. (2016) em méis brasileiros de *M. subnitida* e *M. scutellaris* obtiveram valores entre 46,0 e 205,0 mg kg⁻¹. Já Torres et al. (2004) verificaram 770 mg kg⁻¹ em méis de *T. angustula* da Colômbia e Moo-Huchin et al. (2015) observaram conteúdo de 264,5 a 1193,7 mg kg⁻¹ em méis de *M. beecheii* provenientes do México. Para méis de *M. scutellaris*, *M. quadrifasciata*, *M. subnitida* e *Plebeia* sp. do Brasil, Duarte et al. (2012) encontraram valores entre 201,6 e 924,6 mg kg⁻¹. A prolina procede principalmente das secreções salivares de abelhas durante a conversão do néctar em mel (DA SILVA et al., 2016), isto pode explicar possíveis variações nas diferentes espécies de abelhas, além da influência de diferentes origens geográficas e, possivelmente, floradas distintas.

Destaca-se ainda, o estudo realizado por Ramón-Sierra, Ruiz-Ruiz e Ortiz-Vázquez (2015) com méis de abelhas sem ferrão do México, onde foi realizada a identificação de proteínas utilizadas como marcador de origem entomológica, e concluíram que as bandas distintas encontradas podem auxiliar a distinguir méis de abelhas sem ferrão dos méis de *Apis mellifera*. Alvarez-Suárez et al. (2018) também determinaram o conteúdo total de aminoácidos livres nos méis de *M. beecheii*. Os autores concluíram que este mel possui uma quantidade maior de conteúdo total de aminoácidos livres (119,63 mg de equivalentes de l-leucina 100 g⁻¹) quando comparado ao mel de abelha *Apis mellifera* (99,15 mg LE 100 g⁻¹).

Outra investigação importante é a identificação do perfil de aminoácidos presentes em méis de abelhas sem ferrão, que até o momento, foi realizado somente por Biluca et al. (2019).

Biluca et al. (2019) analisaram 17 aminoácidos livres em nove amostras de méis de diferentes espécies de abelhas sem ferrão do Brasil. Os autores encontraram 16 aminoácidos (aspártico, glutâmico, asparagina, glutamina, serina, arginina, glicina, treonina, alanina, prolina, tirosina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina e triptofano), identificando a fenilalanina (5,20 - 1231 mg kg⁻¹) e prolina (12,1 - 12762 mg kg⁻¹) com maiores concentrações. Somente histidina não foi identificado em nenhuma das amostras.

3.2.2.8 Vitaminas

O mel, produzido por abelhas *Apis mellifera*, contém pequenas quantidades de vitaminas, principalmente vitaminas do complexo B, que são provenientes do pólen. Neste tipo de mel destacam-se: tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido nicotínico (B3), ácido pantotênico (B5), piridoxina (B6), biotina (B8; H) e ácido fólico (B9), assim como ácido ascórbico (vitamina C) (DA SILVA et al., 2016).

Em méis de abelhas sem ferrão somente a vitamina C foi investigada até o momento. A determinação de vitamina C é importante devido ao seu efeito antioxidante. Vit et al. (2006) encontraram valores de 17,7 a 26,9 mg 100 g⁻¹ para méis de diferentes espécies de abelhas sem ferrão da Venezuela, Argentina, Brasil e Austrália. Resultados similares foram obtidos por Jimenez et al. (2016), analisando mel de *S. mexicana* do México, coletado em diferentes épocas, obtendo valores entre 28,0 a 39,0 mg 100 g⁻¹. Enquanto Sousa et al. (2013) com mel de diversas espécies provenientes do Brasil, observaram variação de 8,8 a 36,1 mg 100g⁻¹. Assim, pode-se constatar similaridade entre os resultados obtidos até o momento, porém o conhecimento de vitaminas presentes neste mel ainda é muito escasso, necessitando de maiores estudos.

3.2.2.9 Minerais

Os minerais são considerados micronutrientes, pois pequenas concentrações são necessárias para o adequado funcionamento do organismo humano, auxiliando na regulação das funções metabólicas. São amplamente divididos como macro e microminerais. Os macrominerais auxiliam na estrutura e formação dos ossos, regulação dos fluidos corporais e secreções digestivas, apresentando necessidade diária > 100 mg. Dentre os macrominerais destacam-se o cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), cloreto (Cl), fósforo (P) e enxofre (S). Os microminerais atuam em reações bioquímicas, sistema imunológico e ação antioxidante, apresentando necessidade diária < 100 mg. Dentre os microminerais tem-se o iodo (I), zinco (Zn), selênio (Se), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), cobalto (Co), molibdênio (Mo), fluoreto (F), cromo (Cr) e boro (B) (SHANKAR, 2020; ZEECE, 2020). Ainda, existem minerais que são denominados metais tóxicos, pois não podem ser destruídos pelo organismo, são altamente reativos do ponto de vista químico, podem ser absorvidos pelos tecidos, possuem alta toxicidade e longa persistência e tem bioacumulação e biomagnificação, como por exemplo, chumbo (Pb), alumínio (Al), mercúrio (Hg) e cádmio (Cd) (PANDEY; TIWARI, 2021).

O mel de *Apis mellifera* possui um teor de minerais que varia de 0,04 a 0,2%, dependendo da sua coloração (DA SILVA et al., 2016). Sua identificação no mel tem auxiliado na definição da origem geográfica e botânica, isto porque o néctar coletado pelas abelhas depende do tipo de solo no qual a planta e o néctar estavam localizados (DA SILVA et al., 2016). Desta forma, diversos pesquisadores têm obtido com sucesso a classificação botânica de méis de *Apis mellifera* a partir da determinação de minerais (EL-HASKOURY et al., 2018; KALAYCIOĞLU et al., 2017; KARABAGIAS et al., 2017; KAYGUSUZ et al., 2016; NAYIK et al., 2018; NAYIK; NANDA, 2016). Além disso, o conteúdo de minerais pode fornecer uma indicação de poluição ambiental, quando encontradas concentrações excessivas de metais tóxicos nos méis (DI BELLA et al., 2015).

Em méis de abelhas sem ferrão, as investigações realizadas até o momento (Tabela 6) mostram que dentre os macrominerais, potássio (K) é o mineral mais abundante (66,3 a 4490 mg kg⁻¹), seguido de sódio (Na) (7,8 a 939,4 mg kg⁻¹), cálcio (Ca) (11,2 a 352,0 mg kg⁻¹) e magnésio (Mg) (3,6 a 231,0 mg kg⁻¹). Destaca-se também que méis de abelhas sem ferrão da Bolívia, estudados por Ferrufino e Vit (2013), apresentaram quantidades relativamente altas de fósforo (P) (9,7 - 168,5 mg kg⁻¹), quando comparado, por exemplo, a amostras de mel tailandês de *H. itama* que apresentaram 0,2 mg kg⁻¹ (KEK et al., 2017a). Pode ser que tal diferença esteja relacionada a localidade de coleta do néctar, ou à espécie de abelha. Por isso a investigação destes componentes se faz tão necessário para auxiliar na definição da identidade dos méis de abelhas sem ferrão.

Tabela 5 - Minerais de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.

País	Espécie	MACROMINERAIS (mg kg ⁻¹)					Referências
		K	Na	Ca	Mg	P	
Brasil	<i>M. bicolor</i>	163,0 - 1570,0	11,1 - 69,6	65,4 - 196,0	19,2 - 88,8	-	Biluca et al. (2017); Biluca et al. (2016); Nascimento et al. (2015)
	<i>M. quadrifasciata</i>	n.d - 2010,0	11,9 - 146,0	11,2 - 259,0	4,10 - 137,0	-	
	<i>M. marginata</i>	109,0 - 2150,0	12,7 - 155,0	35,1 - 259,0	11,2 - 119,0	-	
	<i>M. mondury</i>	250,1 - 2350,0	45,7 - 141,0	68,6 - 352,0	22,7 - 173,0	-	
	<i>M. scutellaris</i>	n.d - 262,0	7,8 - 32,2	82,4 - 89,9	21,1 - 231,0	-	
	<i>T. angustula</i>	498,0 - 4490,0	42,9 - 305,0	123,0 - 166,0	88,9 - 122,0	-	
	<i>M. rufiventris</i>	459,0 - 604,0	22,5 - 25,3	57,8 - 88,7	23,2 - 33,2	-	
	<i>T. clavipes</i>	299,0 - 2780,0	85,5 - 90,4	136,0 - 159,0	77,1 - 88,0	-	
	<i>S. bipunctata</i>	241,0 - 1680,0	17,1 - 109,0	75,3 - 135,0	37,5 - 63,9	-	
	<i>T. fuscipennis</i>	492,0	26,6	38,5	11,5	-	
	<i>M. fasciculata</i>	66,3 - 928,8	n.d - 939,4	12,2 - 96,9	5,6 - 21,3	n.d	
	<i>M. flavoneata</i>	554,2 - 1525,3	n.d - 468,1	25,5 - 124,8	6,12 - 64,6	n.d - 54,4	
<i>Scaptotrigona</i> sp.	672,4 - 1933,8	n.d - 432,1	68,6 - 147,5	22,8 - 100,5	n.d - 46,6		
Colômbia	<i>M. compressipes</i>	299,8	63,6	55,0	20,0	-	Fuenmayor (2013)
	<i>Melipona</i> sp.	545,7	67,7	150,3	32,5	-	
	<i>Nannotrigona</i> sp.	961,2	154,5	117,0	4,7	-	
	<i>Scaptotrigona</i> sp.	183,3	n.d	51,5	37,4	-	
	<i>Tetragona</i> sp.	1669,4	178,3	267,8	85,5	-	
	<i>T. angustula</i>	576,6	155,0	199,6	56,0	-	
Bolívia	<i>M. brachychaeta</i>	93,3	-	21,0	3,6	9,7	Ferrufino e Vit (2013)
	<i>M. grandis</i>	125,2	-	24,7	7,1	13,2	
	<i>G. thoracica</i>	352,3	-	84,1	51,6	-	
	<i>S. depilis</i>	147,5	-	29,7	15,8	30,0	
	<i>G. thoracica</i>	352,3	-	84,1	51,6	-	
	<i>S. polysticta</i>	291,0	-	29,7	14,8	53,8	
	<i>S. xanthotricha</i>	435,8	-	29,8	27,7	70,1	
	<i>T. fiebrigi</i>	1449,2	-	109,9	49,7	168,5	
Tailândia	<i>H. itama</i>	732,0	589,7	191,9	33,8	0,2	Kek et al. (2017a)
Malásia	<i>H. itama</i>	236,3 - 680,7	-	51,8 - 292,7	18,5 - 50,3	-	Bakar et al. (2017)
	<i>G. thoracica</i>	352,3	-	84,1	51,6	-	

(continua)

(continuação)

País	Espécie	MICROMINERAIS (mg kg ⁻¹)				Referências
		Zn	Cu	Fe	Mn	
Brasil	<i>M. bicolor</i>	0,33 - 7,2	0,08 - 0,31	0,79 - 1,2	n.d - 8,7	Biluca et al. (2017); Biluca et al. (2016); Nascimento et al. (2015)
	<i>M. quadrifasciata</i>	0,08 - 4,9	n.d - 0,39	0,41 - 0,66	n.d - 9,4	
	<i>M. marginata</i>	0,17 - 4,8	0,08 - 0,29	0,82 - 5,7	n.d - 10,9	
	<i>M. mondury</i>	0,55 - 6,5	0,34 - 0,40	0,33	n.d - 11,2	
	<i>M. scutellaris</i>	n.d - 6,0	0,37 - 0,41	6,2	n.d - 5,7	
	<i>T. angustula</i>	0,61 - 6,3	0,67 - 1,1	4,1	n.d - 3,5	Biluca et al. (2017); Biluca et al. (2016)
	<i>M. rufivestris</i>	0,57	0,08	1,7	n.d - 1,2	
	<i>T. clavipes</i>	0,79	0,45	2,6	n.d - 1,5	
	<i>S. bipunctata</i>	0,48	0,24	2,0	n.d - 4,1	
	<i>T. fuscipennis</i>	-	-	-	n.d	
	<i>M. fasciculata</i>	n.d - 0,53	n.d - 0,86	n,d - 7,4	0,01 - 0,40	Lemos et al. (2018);
	<i>M. flavoneata</i>	n.d	0,15 - 0,37	0,06 - 2,1	0,15 - 1,4	Silva A. et al. (2013)
	<i>C. capitata</i>	3,7	0,13	-	-	Nascimento et al. (2015)
	<i>M. seminigra</i>	7,4	0,24	-	-	
	<i>S. xanthotricha</i>	3,7	0,40	-	-	
<i>Scaptotrigona</i> sp.	n.d	0,36 - 0,70	n.d	0,76 - 4,1		
<i>M. compressipes</i>	10,8	1,2	4,8	-	Fuenmayor (2013)	
<i>Melipona</i> sp.	6,7	0,8	3,3	-		
<i>Nannotrigona</i> sp.	14,9	1,9	49,6	-		
<i>Scaptotrigona</i> sp.	19,0	0,6	15,1	-		
<i>Tetragona</i> sp.	18,1	1,2	6,2	-		
<i>T. angustula</i>	19,6	0,9	5,8	-		
<i>M. brachychaeta</i>	0,2	n,d	0,2	-		
<i>M. grandis</i>	0,2	0,4	0,6	-		
<i>S. depilis</i>	0,1	0,1	0,9	-		
<i>S. polysticta</i>	6,8	0,1	1,3	-		
<i>S. xanthotricha</i>	1,5	0,8	2,7	-	Ferrufino e Vit (2013)	
<i>T. fiebrigi</i>	6,3	1,1	4,0	-		
Tailândia	<i>T. laeviceps</i>	1,0 - 6,2	0,3 - 2,2	2,0 - 3,8	2,5 - 5,8	Suntiparapop, Prapaipong e Chantawannakul (2012)
	<i>H. itama</i>	2,2	1,8	6,6	-	Kek et al. (2017a)
Malásia	<i>H.itama</i>	4,4 - 5,3	-	-	-	Bakar et al. (2017)
	<i>G. thoracica</i>	3,6	-	-	-	

(continua)

(conclusão)

País	Espécie	METAIS TÓXICOS (mg kg ⁻¹)										Referências
		Pb	Cd	Al	Sr	Cr	Ni	Co	As	Hg		
Brasil	<i>M. bicolor</i>	1,2	n.d	1,4 - 2,7	-	-	n.d	n.d - 0,05	-	-		
	<i>M. quadrifasciata</i>	1,2	n.d	0,60 - 1,8	-	-	n.d	n.d	-	-	Biluca et al. (2017); Nascimento et al. (2015)	
	<i>M. marginata</i>	1,2	3,2	2,9 - 5,9	-	-	n.d	n.d	-	-		
	<i>M. mondury</i>	1,3	n.d	2,8	-	-	n.d	n.d	-	-		
	<i>M. scutellaris</i>	1,1	6,5	11,3	-	-	n.d	n.d	-	-		
	<i>C. capitata</i>	1,2	3,5	-	-	-	-	-	-	-		
	<i>M. seminigra</i>	1,2	2,1	-	-	-	-	-	-	-	Nascimento et al. (2015)	
	<i>S. xanthotricha</i>	1,1	3,3	-	-	-	-	-	-	-		
	<i>T. clavipes</i>	-	-	1,8	-	-	0,03	0,06	-	-		
	<i>T. angustula</i>	-	-	3,5	-	-	0,24	n.d	-	-	Biluca et al. (2017)	
	<i>S. bipunctata</i>	-	-	2,0	-	-	0,02	n.d	-	-		
	<i>M. rufivestris</i>	-	-	1,9	-	-	n.d	n.d	-	-		
	<i>Scaptotrigona</i> sp.	n.d	n.d	-	-	-	-	-	-	-	Lemos et al. (2018)	
	<i>M. fasciculata</i>	n.d	n.d	n.d - 9,1	0,09 - 0,32	n.d	n.d	-	-	-	Silva A. et al. (2013);	
	<i>M. flavoneata</i>	n.d	n.d	n.d - 3,9	0,04 - 0,34	n.d	n.d	-	-	-	Lemos et al. (2018)	
<i>T. angustula</i>	n.d - 1,1	1,1 - 6,2	-	-	-	-	-	17,0 - 138,3	-	Oliveira F. et al. (2017)		
Tailândia	<i>T. laeviceps</i>	0,2	-	-	-	-	0,3 - 0,4	0,2	-	-	Suntiparapop, Prapaipong e Chanwannakul (2012)	
	<i>H. itama</i>	0,2	0,002	-	-	-	-	-	0,02	0,02	Kek et al. (2017a)	

K: potássio; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; P: fósforo; Zn: zinco; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Pb: chumbo; Cd: cádmio; Al: alumínio; Sr: estrôncio; Cr: cromo; Ni: níquel; Co: cobalto; As: arsênio; Hg: mercúrio; (-): não avaliado; nd: não detectado.

Fonte: próprio autor

Em relação aos microminerais em méis de abelhas sem ferrão (Tabela 6), até o momento foram encontrados: manganês (Mn) (0,01 - 12,9 mg kg⁻¹), ferro (Fe) (0,2 - 49,6 mg kg⁻¹), cobre (Cu) (0,08 - 1,9 mg kg⁻¹), zinco (Zn) (0,08 - 19,6 mg kg⁻¹), estrôncio (Sr) (0,04 - 0,34 mg kg⁻¹) e cobalto (Co) (0,05 - 0,2 mg kg⁻¹). Destes, é possível destacar que a concentração de Zn (0,1 - 19,6 mg kg⁻¹) obtida nas amostras de méis da Colômbia (FUENMAYOR, 2013) foram relativamente maiores que aquelas encontradas nos méis provenientes de outros países (0,08 - 7,4 mg kg⁻¹). Da mesma forma que o mel colombiano de *Nannotrigona* sp. apresentou valor superior de Fe (49,6 mg kg⁻¹), quando comparado aos méis das outras espécies (0,2 - 15,1 mg kg⁻¹), inclusive de outras localidades, reforçando a hipótese da utilização do conteúdo mineral como marcador geográfico ou botânico.

Quanto aos metais tóxicos, em méis de abelhas sem ferrão, chumbo (Pb), cádmio (Cd), alumínio (Al), níquel (Ni) e cobalto (Co) foram investigados com maior frequência, conforme apresentado na Tabela 6. No entanto, Ni e Co não foram detectados na maioria das amostras. Estrôncio (Sr), cromo (Cr), arsênio (As) e mercúrio (Hg) foram descritos principalmente em méis da Tailândia.

Oliveira F. et al. (2017) encontraram arsênio em quantidade elevada (138,9 mg kg⁻¹) em mel brasileiro de *T. angustula* quando comparado ao mel tailandês (0,02 mg kg⁻¹). Bário (Ba) foi detectado apenas em méis brasileiros, onde Biluca et al. (2017) encontraram quantidades entre 0,11 e 2,5 mg kg⁻¹ e Lemos et al. (2018) obtiveram valores entre 0,29 e 2,51 mg kg⁻¹. Lítio (Li) também foi analisado por Biluca et al. (2017), mas não foi detectado em nenhuma amostra. O regulamento técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos (BRASIL, 2013), prevê que o mel não deve conter concentrações maiores que 0,30 mg kg⁻¹ para Pb e As, e 0,10 mg kg⁻¹ para Cd. Considerando estes limites, os méis avaliados por Nascimento et al. (2015) (*M. marginata*, *M. scutellaris*, *Cephalotrigona capitata*, *Melipona seminigra*, *Scaptotrigona xanthotricha*) e Oliveira F. et al. (2017) (*T. angustula*) estariam impróprios ao consumo humano, devido a elevada concentração de Cd (1,1 - 6,5 mg kg⁻¹) (NASCIMENTO et al., 2015), e de As no mel de *T. angustula* (17,0 - 138,3 mg kg⁻¹) (OLIVEIRA F. et al., 2017).

Oliveira F. et al. (2017) quantificaram 15 elementos minerais, considerados terras raras (escândio, ítrio, lantânio, cério, praseodímio, neodímio, samário, európio, gadolínio, disprosio, hólmio, érbio, túlio, lutécio e itérbio) em mel de *T. angustula* do Brasil. Esses minerais são conhecidos como indicadores de processos e reações pedológicas do solo e assim o mel poderia servir como um bioindicador. Neste sentido, recentemente, Oliveira et al., (2020) determinaram o teor de 20 elementos minerais (alumínio, cálcio, ferro, potássio, manganês, sódio, fósforo,

enxofre, bário, cobre, níquel, estrôncio, zinco, magnésio, cobalto, gálio, índio, lítio, molibdênio e vanádio) em méis de *T. angustula* provenientes de nove sítios da região do quadrilátero ferrífero do estado de Minas Gerais. Os autores relacionaram os teores de minerais obtidos nos méis com o perfil do solo de cada sítio, considerando características geogênicas e antrópicas. Dessa forma, foi possível classificar as amostras de méis de acordo com sua origem geográfica, e também utilizá-las como bioindicador.

3.2.2.10 Ácidos orgânicos

O mel possui concentrações inferiores a 0,5% de ácidos orgânicos em sua composição. Porém, estes compostos são notavelmente importantes na definição de algumas características, como cor, aroma, sabor, pH, acidez e condutividade elétrica (DA SILVA et al., 2016). Ainda, juntamente com os açúcares e peróxido de hidrogênio, estes compostos são responsáveis pela excelente resistência do mel a deterioração microbiana (VÁZQUEZ-QUIÑONES et al., 2018). Além disso, se verifica que a capacidade antioxidante dos méis pode ser influenciada pela presença dos ácidos orgânicos, uma vez que eles podem atuar como quelantes de íons metálicos, tornando-se sinergistas de antioxidantes primários (MATO et al., 2003).

Ao todo, mais de 30 diferentes ácidos orgânicos já foram identificados em méis. O ácido predominante é o ácido glucônico e em menores concentrações os ácidos málico, cítrico, láctico, succínico, fumárico, maleico, fórmico, acético, oxálico, pirúvico, dentre outros. O ácido glucônico é originado principalmente da ação da enzima glicose-oxidase, a qual é introduzida ao néctar pelas abelhas (DA SILVA et al., 2016). Parte deste ácido também é produzido por bactérias que são encontradas no intestino das abelhas e permanecem durante todo o amadurecimento do mel. Em ambientes aeróbicos com altas concentrações de glicose, estes micro-organismos produzem grandes quantidades de ácido glucônico (RUIZ-ARGÜESO; RODRIGUEZ-NAVARRO, 1973). Assim, as variações nas concentrações deste ácido orgânico irão depender principalmente do tempo necessário para a transformação do néctar em mel. Ou seja, quanto maior for o tempo, maior a adição de glicose-oxidase pela abelha, e maior, portanto, a concentração de ácido glucônico. A origem dos outros ácidos orgânicos no mel não é totalmente conhecida. Eles podem ser provenientes do néctar, ou serem produzidos a partir de açúcares por ação de enzimas adicionadas pelas abelhas, ou ainda, pelo fato de serem intermediários de vias enzimáticas, como o ciclo de Krebs e outros (DA SILVA et al., 2016; MACHADO DE-MELO et al., 2017).

Em méis de abelhas sem ferrão, até o momento, somente Oddo et al. (2008), Sancho et al. (2013) e Shamsudin et al. (2019) identificaram ácidos orgânicos, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 6 - Ácidos orgânicos de méis de abelhas sem ferrão provenientes de diferentes espécies e países.

País	Espécie	glucônico	cítrico	málico	tartárico	lático	acético	succínico	Referências
Venezuela	<i>M. melosa</i>	63,6	0,05	0,03	-	-	-	-	Sancho et al. (2013)
Malásia	<i>H. itama</i>	0,39 - 1,48	0,04 - 0,09	n.d - 0,03	n.d - 0,06	n.d - 0,03	0,01 - 0,30	0,32 - 0,38	Shamsudin et al. (2019)
	<i>G. thoracica</i>	0,48 - 0,55	0,03 - 0,05	n.d	n.d - 0,04	0,03 - 0,20	0,06 - 0,09	n.d - 0,52	
Austrália	<i>T. carbonaria</i>	9,9	0,23	0,12	-	-	-	-	Oddo et al. (2008)

(-): não avaliado; nd: não detectado.

Fonte: próprio autor

Nota-se que o ácido glucônico foi encontrado em maior concentração em mel de *Melipona melosa* (Venezuela) (63,6 g kg⁻¹) (SANCHO et al., 2013). Porém, apesar deste ácido ser frequentemente majoritário, Shamsudin et al. (2019) verificaram que os méis de *H. itama* e *G. thoracica* (Malásia) (0,39 - 1,48 g kg⁻¹) também apresentaram conteúdo similar de ácido succínico (0,32 a 0,52 g kg⁻¹), e em alguns casos também ácido acético (*H. itama* - 0,30 g kg⁻¹) e lático (*G. thoracica* - 0,20 g kg⁻¹). Além disso, o estudo de Shamsudin et al. (2019) foi capaz de diferenciar méis de abelha sem ferrão dos méis de *Apis mellifera*, por meio dos ácidos acético, cítrico, málico e tartárico. Este estudo também concluiu que ácidos glucônico e succínico podem ser usados como marcadores químicos para distinguir os méis de *H. itama* e *G. thoracica*, daquela região.

Portanto, verificou-se que a pesquisa do perfil de ácidos orgânicos em méis de abelhas sem ferrão ainda é recente. O seu conhecimento é interessante para identificação dos possíveis ácidos responsáveis pela elevada acidez livre, geralmente encontrada nestes méis e como marcador entomológico.

3.2.2.11 Compostos voláteis

Os méis apresentam uma mistura complexa de compostos voláteis, os quais são responsáveis pelo seu sabor e aroma. Diferentes famílias químicas compõem esta mistura complexa, podendo citar monoterpenos, C13-norisoprenóides, sesquiterpenos, derivados de

benzeno e em menor conteúdo, álcoois superiores, ésteres, ácidos graxos, cetonas, terpenos e aldeídos (DA SILVA et al., 2016; MACHADO DE-MELO et al., 2017).

Em méis de *Apis mellifera*, mais de 400 diferentes compostos voláteis já foram identificados. O perfil destes compostos pode variar dependendo da fonte floral do néctar. Porém, além do néctar, esses compostos no mel podem ainda advir de transformações de constituintes das plantas em outros compostos com propriedades voláteis, realizadas pelo metabolismo das abelhas; a partir do aquecimento ou manuseio durante o processamento e condição de armazenamento, bem como de contaminações microbianas ou ambientais (KARABAGIAS, et al., 2014).

Os méis monoflorais, por exemplo, possuem aroma característico da planta, devido à presença de compostos voláteis específicos do néctar em que os méis foram coletados. Assim, muitos pesquisadores têm investigado estes compostos como marcadores de origem floral e geográfica (CASTRO-VÁZQUEZ et al., 2014; ESCRICHE, et al., 2017; ESCRICHE et al., 2011; JUAN-BORRÁS et al., 2014). Neste contexto, destacam-se: os aldeídos de cor lilás como marcadores de mel cítrico (ALISSANDRAKIS et al., 2007); antranilato de metilo em méis de laranjeira (JUAN-BORRÁS et al., 2015); formaldeído e acetaldeído em mel de colza e trevo (BOUSETA et al., 1992); dicetonas, compostos de enxofre e alcanos para méis de eucalipto (RADOVIC et al., 2001); e hexanal e heptanal para méis de lavanda (BOUSETA; SCHEIRMAN; COLLIN, 1996).

Em méis de abelhas sem ferrão, somente méis brasileiros foram avaliados até o momento, quanto ao perfil de compostos voláteis. Da Costa et al. (2018a) avaliaram méis de *M. subnitida* e *M. scutellaris* e detectaram 114 compostos, sendo os terpenos a principal classe encontrada (48 detectados), seguido de 14 esteres, 11 norisoprenoides, 11 benzenos, 7 furanos, 5 cetonas, 4 hidrocarbonetos, 4 álcoois, 4 aldeídos aromáticos, 3 aldeídos, 2 ácidos e 1 enxofre. No estudo também foi possível observar que as fontes botânicas tiveram uma forte influência no perfil volátil, com a existência de compostos diferenciadores e potenciais marcadores para as fontes botânicas avaliadas, como linalol para mel de malícia (*Mimosa pudica*), D-silvestrene para méis de chanana (*Turnera ulmifolia*), óxido rosa para méis de algaroba (*Prosopis juliflora*) e benzenetanol para méis de angico (*Anadenanthera colubrina*). Da Costa et al. (2018b), também avaliaram a relação existente entre o perfil volátil e sensorial destes méis e identificaram 11 descritores sensoriais e 96 compostos voláteis, com um forte efeito do tipo de floração no perfil sensorial e volátil. O mel de juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) destacou-se com um aroma característico marcante, gosto doce, sabor de caramelo e níveis de aldeídos aromáticos; o mel de jurema (*Mimosa hostilis*) foi descrito com aroma de ervas e cera de abelhas e a

presença de compostos de enxofre e cetonas; e ácidos voláteis associados ao sabor do ácido, sabor medicinal e aroma de cravo caracterizaram o mel velame branco (*Macrosiphonia velame*). Ainda, Da Costa, Garruti e Madruga (2019) utilizaram a cromatografia gasosa olfatométrica para avaliar a qualidade e a potência de cada volátil odorizante presente no headspace de mel de *M. scutellaris* (unifloral de velame branco – *Croton heliotropiifolius*). Os autores detectaram 17 estímulos odoríferos pelo painel sensorial sendo os impactos mais odoríferos provenientes do acetato de pentanoato 'fruta madura', safranal verde, planta medicinal e metil eugenol 'cravo, chá'.

Silva et al. (2017) também analisaram méis de oito espécies diferentes de abelhas sem ferrão (*Melipona bicolor*, *M. marginata*, *M. scutellaris*, *M. quadrifasciata*, *T. clavipes*, *T. angustula*, *S. bipunctata* e *S. xanthotricha*) e encontraram um total de 44 compostos. Os óxidos linalool (cis e trans) foram encontrados em todas as amostras, sendo este o composto mais abundante. Cerca de 45% dos compostos identificados foram terpenos e 27% ésteres. Entre os aldeídos, o benzaldeído era predominante. A partir desses resultados, os autores verificaram que o perfil de compostos voláteis dessas amostras pode ajudar na definição de sua origem geográfica, contribuindo para a autenticidade desses méis.

3.2.2.12 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são substâncias aromáticas hidroxiladas, com grande diversidade estrutural, que pode variar desde uma molécula fenólica simples a um polímero complexo. São conhecidos aproximadamente 10.000 compostos fenólicos e devido a grande diversidade, em geral são classificados em dois principais grupos: flavonoides e não flavonoides (ARAÚJO, 2011; MURKOVIC, 2016).

Os flavonoides compõem o maior grupo de compostos fenólicos, sendo descritos mais de 4.000 compostos. Possuem duas subunidades de fenóis, com estrutura C₆-C₃-C₆ e subdividem-se em diversas classes, dependendo das substituições nos anéis: flavonóis, flavonas, flavanois, isoflavonas, flavanonas e antocianidinas. Em geral, os flavonoides estão presentes na forma glicosilada com diferentes tipos de açúcares, especialmente glicose e ramanose (ARAÚJO, 2011).

Dentre o grupo dos não flavonoides, destacam-se os ácidos fenólicos, que contêm grupo carboxílico na sua estrutura e podem ser divididos em dois subgrupos: os ácidos hidroxibenzoicos e os hidroxicinâmicos. Os ácidos hidroxibenzoicos apresentam estrutura geral C₆-C₁ e podem ser encontrados nas células na forma solúvel, conjugado com açúcares ou ácidos

orgânicos, ou constituindo a parede celular juntamente com ligninas. Os ácidos hidroxicinâmicos possuem estrutura geral C_6-C_3 e ocorrem geralmente na sua forma conjugada como ésteres de hidroxiácidos e também na forma pura (ARAÚJO, 2011; MURKOVIC, 2016).

Os compostos fenólicos são considerados metabólitos secundários das plantas, responsáveis pela pigmentação, remoção de radicais livres, atração de polinizadores, e também como agentes antimicrobianos (CHEYNIER; TOMAS-BARBERAN; YOSHIDA, 2015). Desta forma, as plantas possuem um elevado teor destes compostos, os quais são possivelmente transferidos para o mel quando as abelhas recolhem o néctar (MACHADO DE-MELO et al., 2017). Em méis de *Apis mellifera*, o perfil de compostos fenólicos é extensivamente descrito por diversos autores, sendo inclusive sugerido como possíveis marcadores para a determinação da origem botânica do mel (JASICKA-MISIAK et al., 2012; KARABAGIAS et al., 2014; NAYIK; NANDA, 2016). Em méis de abelhas sem ferrão, a Tabela 8 apresenta os principais estudos que avaliaram compostos fenólicos.

Até o momento foram identificados mais de 30 compostos fenólicos em méis de abelhas sem ferrão, sendo 17 ácidos fenólicos (protocatecuico, gálico, ferúlico, cafeico, *p*-cumárico, vanílico, cinâmico, siringico, rosmarínico, salicílico, mandélico, 4-hidroximetilbenzóico, sinápico, β -resorcílico, elágico, clorogênico e catecol), 14 flavonoides (naringenina, quercetina, apigenina, kaempferol, taxifolina, crisina, aromadendrina, miricetina, catequina, eriodictiol, luteolina, isoquercetina, hesperetina e rutina), entre outros (vanilina, umbeliferona, siringaldeído, sinapaldeído e carnosol).

Uma grande variabilidade entre os compostos fenólicos é observada nesses méis, não sendo possível evidenciar um composto fenólico específico em maior concentração, porque cada mel tem suas características únicas, influenciada pelas espécies de abelhas e flores visitadas por elas. Porém, destaca-se que ácido *p*-cumárico (1,00 - 64,3 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), ácido salicílico (8,02 - 98,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), aromadendrina (8,00 - 303,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) e taxifolina (3,80 - 282,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) são frequentemente encontrados em méis de abelha sem ferrão.

Tabela 7 - Compostos fenólicos identificados em méis de diferentes espécies de abelhas sem ferrão.

Espécies	ÁCIDOS FENÓLICOS ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)										Referências	
	protocatecuico	gálico	ferúlico	Cafeico	p-cumárico	vanílico	cinâmico	siringico	rosmarínico	salicílico		
<i>M. quadrifasciata</i>	n.d - 8,93	n.d	n.d	n.d	4,54 - 48,5	1220,0	n.d	n.d - 223,0	34,0	13,3 - 40,3		
<i>M. mondury</i>	n.d	n.d	14,7	6,61	18,8	n.d	n.d	n.d	n.d	47,1		
<i>M. bicolor</i>	n.d	n.d	6370,0	3633,0	10,0 - 38,0	1070,0	n.d	n.d	n.d - 6,0	36,3		
<i>M. marginata</i>	16,8	n.d	n.d - 59,0	n.d - 22,0	4,0 - 64,3	n.d	n.d	n.d - 249,0	n.d	36,7 - 48,1	Avila et al. (2019); Biluca et al. (2017)	
<i>T. clavipes</i>	19,7	n.d	6,64	n.d	10,3	n.d	n.d	n.d	n.d	76,7		
<i>T. angustula</i>	43,4	n.d	7,0	20,0	28,4	n.d	n.d	279,0	n.d	98,4		
<i>S. bicuntacta</i>	40,8	n.d	n.d	n.d	7,0 - 36,7	n.d	n.d	268,0	n.d	28,4		
<i>M. rufiventris</i>	30,3	n.d	n.d	n.d	29,2	n.d	n.d	176,0	n.d	8,02		
<i>M. subnitida</i>	0,13 - 24,0	0,05 - 1,31	n.d - 18,0	35,8	1,0 - 45,0	0,16 - 0,84	0,08 - 13,0	2,4 - 12,0	-	-	Silva T. et al. (2013); Oliveira R. et al. (2017); Sousa et al. (2016)	
<i>M. scutellaris</i>	0,4 - 22,3	1,39	n.d - 11,1	n.d	n.d - 32,7	-	0,2 - 10,8	2,2 - 11,6	6,0	-	Oliveira R. et al. (2017); Sousa et al. (2016); Biluca et al. (2017)	
<i>M. seminigra</i>	n.d - 0,20	0,02 - 0,06	-	-	n.d - 0,15	n.d - 0,24	n.d - 0,11	n.d - 1,51	-	n.d - 0,17	Da Silva et al. (2013)	
<i>M. q. anthidioides</i>	-	0,76	n.d	n.d	7,06	-	-	-	-	-		
<i>M. q. quadrifasciata</i>	-	1,06	n.d	122,2	3,06	-	-	-	-	-	Oliveira R. et al. (2017)	
<i>M. asilvai</i>	-	1,35	n.d	n.d	3,8	-	-	-	-	-		
<i>M. compresives</i>	-	2,43	n.d	25,8	6,27	-	-	-	-	-		
<i>M. mandaçaia</i>	-	1,83	n.d	n.d	7,91	-	-	-	-	-		
FLAVONOIDES ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)												
	naringenina	quercetina	apigenina	kaempferol	taxifolina	crisina	aromadendrina	miricetina	catequina	eriodictiol	luteolina	
<i>M. quadrifasciata</i>	4,0 - 21,0	n.d - 160,0	3,2 - 7,3	n.d	n.d - 282,0	9,0	n.d - 38,0	n.d	n.d	n.d - 9,0	-	
<i>M. mondury</i>	4,0	n.d	3,3	n.d	27,0	n.d	10,0	n.d	n.d	n.d	-	
<i>M. bicolor</i>	n.d - 9,0	n.d - 306,0	3,3 - 16,3	n.d	34,0 - 128,0	n.d	11,0 - 22,0	n.d	n.d	n.d	-	
<i>M. marginata</i>	4,0 - 32,0	n.d - 310,0	3,3	n.d	103,0 - 118,0	n.d	9,0 - 303,0	n.d	n.d	n.d	-	Avila et al. (2019); Biluca et al. (2017)
<i>T. clavipes</i>	10,0	n.d	n.d	n.d	1910,0	n.d	15,0	n.d	n.d	18,0	-	
<i>T. angustula</i>	5,0	n.d	n.d	n.d	79,0	n.d	8,0	n.d	n.d	7,0	-	
<i>S. bicuntacta</i>	4,0	n.d - 435,0	n.d	n.d	77,0	n.d	n.d	n.d	n.d	6,0	-	
<i>M. rufiventris</i>	11,0	n.d	n.d	n.d	143,0	n.d	142,0	66,0	n.d	6,0	-	
<i>M. scutellaris</i>	n.d - 9,1	n.d - 17,3	n.d - 3,3	2,6 - 6,79	12,0	n.d - 10,9	n.d	1,8 - 18,0	0,1 - 10,5	n.d	n.d	Oliveira R. et al. (2017); Sousa et al. (2016)
<i>M. subnitida</i>	n.d - 8,7	n.d - 23,3	42,2	2,8 - 160,9	-	0,3 - 13,0	-	1,1 - 21,1	0,3 - 14,9	-	n.d	Silva T. et al. (2013); Oliveira R. et al. (2017)
<i>M. q. anthidioides</i>	n.d	n.d	n.d	26,3	-	-	-	-	-	-	n.d	
<i>M. q. quadrifasciata</i>	n.d	n.d	n.d	n.d	-	-	-	-	-	-	47,9	Oliveira R. et al. (2017)
<i>M. asilvai</i>	n.d	n.d	n.d	n.d	-	-	-	-	-	-	41,8	
<i>M. compresives</i>	n.d	n.d	n.d	n.d	-	-	-	-	-	-	n.d	
<i>M. mandaçaia</i>	5,92	n.d	29,3	n.d	-	-	-	-	-	-	n.d	
<i>M. seminigra</i>	n.d - 1,3	-	-	-	3,8 - 67,0	-	-	-	-	-	n.d - 2,26	Da Silva et al. (2013)

(-): não avaliado; n.d: não detectado. Fonte: próprio autor.

Outros compostos, os quais não estão destacados na Tabela 8, foram identificados somente em alguns méis de abelhas sem ferrão. No estudo realizado por Biluca et al. (2017) o ácido mandélico foi encontrado somente no mel de *S. bipunctata* (737,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$); 4-hidroximetilbenzóico em méis de *S. bipunctata* e *Melipona rufiventris* (186,0 e 166,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente); ácido siríngico e siringaldeído em méis de *M. marginata* (249,0 e 2150,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) e *T. angustula* (279,0 e 423,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$); ácido clorogênico em mel de *M. mondury* e *M. quadrifasciata* (12,0 e 13,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente); ácido sinápico e umbeliferona em mel de *M. quadrifasciata* (221,0 e 3,81 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$); vanilina em mel de *M. bicolor* (243,0 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$); sinapaldeído em mel de *M. marginata* (34,5 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$); e carnosol foi identificado somente em mel de *M. quadrifasciata*, *M. mondury* e *T. angustula* (4,33 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ para os méis das três espécies). Por outro lado, ácido β -resorcílico, ácido elágico, hesperetina e rutina foram observados somente por Sousa et al. (2016) em méis de *M. subnitida* e *M. scutellaris* e catecol em méis de *M. seminigra* (0,11 a 8,76 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) encontrado por Da Silva et al. (2013).

Vit, Soler e Tomas-Barberan (1997) e Vit e Tomas-Barberan (1998) também já identificaram em méis de 11 diferentes espécies de abelhas sem ferrão (*T. angustula*, *Melipona favosa*, *Melipona compressipes*, *Melipona lateralis*, *Frieseomelitta nigra*, *Frieseomelitta varia*, *Melipona eburnea*, *M. crinita*, *Scaptotrigona ochrotica*, *Melipona paraensis*, *S. polystica*, da Venezuela os compostos: ácido elágico, miricetina, chalcona, quercetina, luteolina, 8-metoxikaempferol, kaempferol, apigenina, isoramnetina, pinocembrina, crisina, genkwanina e tectocrisina.

Outro estudo com mel venezuelano de *M. favosa* (TRUCHADO et al., 2011), revelou que os glicosídeos flavonoides eram os principais constituintes e quantificou pela primeira vez cinco glicosídeos de apigenina-di-C-glicosídeo, dez O-glicosídeos de quercetina, kaempferol e isoramnetina (di- e tri-glicosídeos) e as agliconas pinobanksina, quercetina, kaempferol e isoramnetina.

Ranneh et al. (2018) identificaram 18 compostos fenólicos em méis de abelha sem ferrão (*Trigona* sp.) da Malásia. Os autores descobriram, pela primeira vez, os compostos éster fenético do ácido cafeico, ácido 2-hidroxicinâmico, quercetina-3-O-rutinóide e ácido 4-hidroxibenzóico. Enquanto Alvarez-Suarez et al. (2018) identificaram 19 compostos fenólicos em méis de *M. beecheii* de Cuba, sendo relatado pela primeira vez as formas glicosiladas de quercetina (quercetina desoxihexosil hexosídeo), apigenina (apigenina trihexósida), kaempferol (kaempferol desoxihexosil hexosídeo) e isoramnetina (isoramnetina desoxihexosil hexosídeo)

e também a forma metilada de luteolina (metil luteolina) e quercetina (metil quercetina e quercetina bis-metilada), além do ácido di-hidrocafeico.

Assim, é possível verificar que os méis de abelhas sem ferrão possuem uma grande variedade de compostos fenólicos, os quais podem estar relacionados com as propriedades terapêuticas descritas para este produto. No entanto, faltam informações sobre a correlação dos compostos fenólicos encontrados com a origem floral dos méis de abelhas sem ferrão, as quais poderiam contribuir para a discriminação em diferentes tipos de méis de abelhas sem ferrão, ajudando a definir sua autenticidade e qualidade.

Devido à função dos compostos fenólicos em proteger as plantas contra estresses biológicos e ambientais, são conferidos a estes compostos atividade antioxidante. Esta capacidade antioxidante está relacionada principalmente as propriedades redutoras e estrutura química dos compostos fenólicos, características essenciais na neutralização ou sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição (GRANATO; ALEZANDRO; NAZZARO, 2015). Em virtude disso, aos méis é atribuída capacidade antioxidante, a qual é frequentemente determinada *in vitro* por métodos que atuam na transferência de elétrons, como: poder redutor do ferro (FRAP) e sequestro de radicais 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e 2,2-azino-bis-(3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS).

Os méis brasileiros são os mais investigados, Avila et al. (2019), Bastos et al. (2009), Da Silva et al. (2013), Da Silva et al. (2014), Lira et al. (2014), Oliveira et al. (2012), Silva T. et al. (2013), Sousa et al. (2016) e determinaram a capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH, em diferentes espécies de abelhas. Os valores obtidos para ABTS variam de 1,61 a 81,6 μmol de equivalentes Trolox 100 g^{-1} e para DPPH variam entre 0,03 e 67,55 mg mL^{-1} . Biluca et al. (2016) e Duarte et al. (2012) utilizaram, além de DPPH, também o método de FRAP. Para FRAP, o estudo de Biluca et al. (2016) encontrou valores de 61,1 a 624 $\text{mmol Fe II } 100\text{ g}^{-1}$ e Duarte et al. (2012) de 0,568 a 1,00 mg equivalentes de ácido gálico 100 g^{-1} .

Além disso, Jimenez et al. (2016) avaliaram méis de abelhas sem ferrão do México; Oddo et al. (2008) da Austrália; Vit et al. (2009) da Argentina e Paraguai; Vit et al. (2012) da Venezuela; Gutiérrez et al. (2008) da Guatemala; Rodríguez-Malaver et al. (2009) do Peru; Nweze et al. (2017) da Nigéria; Alvarez-Suárez et al. (2018) de Cuba; e Ranneh et al. (2018), Selvaraju et al. (2019), Shamsudin et al. (2019) e Tuksitha et al. (2018) da Malásia. A maioria dos estudos avaliaram o potencial antioxidante do ABTS, encontrando valores de 39,07 a 569,6 μmol de equivalentes Trolox 100 g^{-1} e, para DPPH, os valores variaram de 15,65 a 97,30%. Alvarez-Suárez et al. (2018), Ng et al. (2017), Nweze et al (2017), Shamsudin et al.

(2019) e Tuksitha et al. (2018) também determinaram a atividade antioxidante pelo método FRAP, encontrando 38,54 a 668,53 $\mu\text{mol Fe II } 100 \text{ g}^{-1}$.

Avila et al. (2019), Biluca et al. (2017), Ranneh et al. (2018), e Sousa et al. (2016) também avaliaram capacidade antioxidante em méis de abelhas sem ferrão, porém pelo método ORAC, o qual baseia-se na transferência de átomos de hidrogênio, diferentemente dos demais (ABTS, DPPH e FRAP), e obteve valores entre 8,9 e 667,0 μmol de equivalentes Trolox 100 g^{-1} .

Assim, nota-se que em geral, o mel de abelhas sem ferrão possui expressiva capacidade antioxidante, provavelmente atribuída aos compostos fenólicos presentes. Porém, reitera-se que maiores estudos são necessários, na identificação destes compostos e sua correlação com a capacidade antioxidante. Assim como, a realização de estudos *in vivo*, uma vez que os benefícios à saúde advindos da capacidade antioxidante dos alimentos já são bem conhecidos, como a redução do risco de doenças cardiovasculares, deficiência do sistema imunológico e processos inflamatórios (DEL RIO et al., 2013).

3.3 ESTABILIDADE DE COMPOSTOS QUÍMICOS PRESENTES NO MEL

Os alimentos reduzem o seu tempo de vida de prateleira devido a degradação dos seus compostos químicos. Esta ocorrência depende de diversos fatores, podendo ser divididos em extrínsecos, que são as características do ambiente (temperatura, umidade relativa, exposição à luz e composição dos gases atmosféricos na embalagem) e intrínsecos, que correspondem as características dos alimentos (atividade de água, umidade, pH, acidez total e disponibilidade de oxigênio) (KONG; SINGH, 2011). Estes fatores, isoladamente ou em conjunto, refletem na ocorrência de reações físicas, químicas, enzimáticas e também microbiológicas, que conseqüentemente levam à deterioração (GOULD, 1996).

O mel produzido por abelhas *Apis mellifera*, é reconhecido por apresentar uma grande estabilidade durante sua vida de prateleira (ZANUSSO, 2014). Cita-se inclusive, que este mel possa permanecer estável durante dois anos (DA SILVA et al., 2016). Em méis de abelhas sem ferrão, ainda não há conhecimento suficiente. Porém, sabe-se que as características físico-químicas dos méis e as condições de armazenamento é que são os fatores determinantes na manutenção estabilidade.

Os açúcares destacam-se como os principais compostos nos méis susceptíveis a degradação, com a formação de inúmeros compostos secundários. Dentre as principais reações que podem acometer esses compostos, as reações químicas ativadas pela acidificação do meio,

aquecimento ou ainda interação com aminoácidos são relatados na literatura (ANET, 1965; FAGERSON, 1969). Também é possível a conversão destes compostos através de reações enzimáticas e micro-organismos deteriorantes (DAMORADAN; PARKIN; FENNEMA, 2018; GONG, 1983).

Em condições ácidas podem ocorrer reações de desidratação, onde pentoses e hexoses se decompõem em uma lenta enolização e uma rápida β -eliminação de três moléculas de água, formando compostos furanos. Dentre os principais furanos tem-se o furfural, proveniente de pentoses e 5-HMF, proveniente de hexoses como glicose e frutose (ANET, 1961; ANET, 1965).

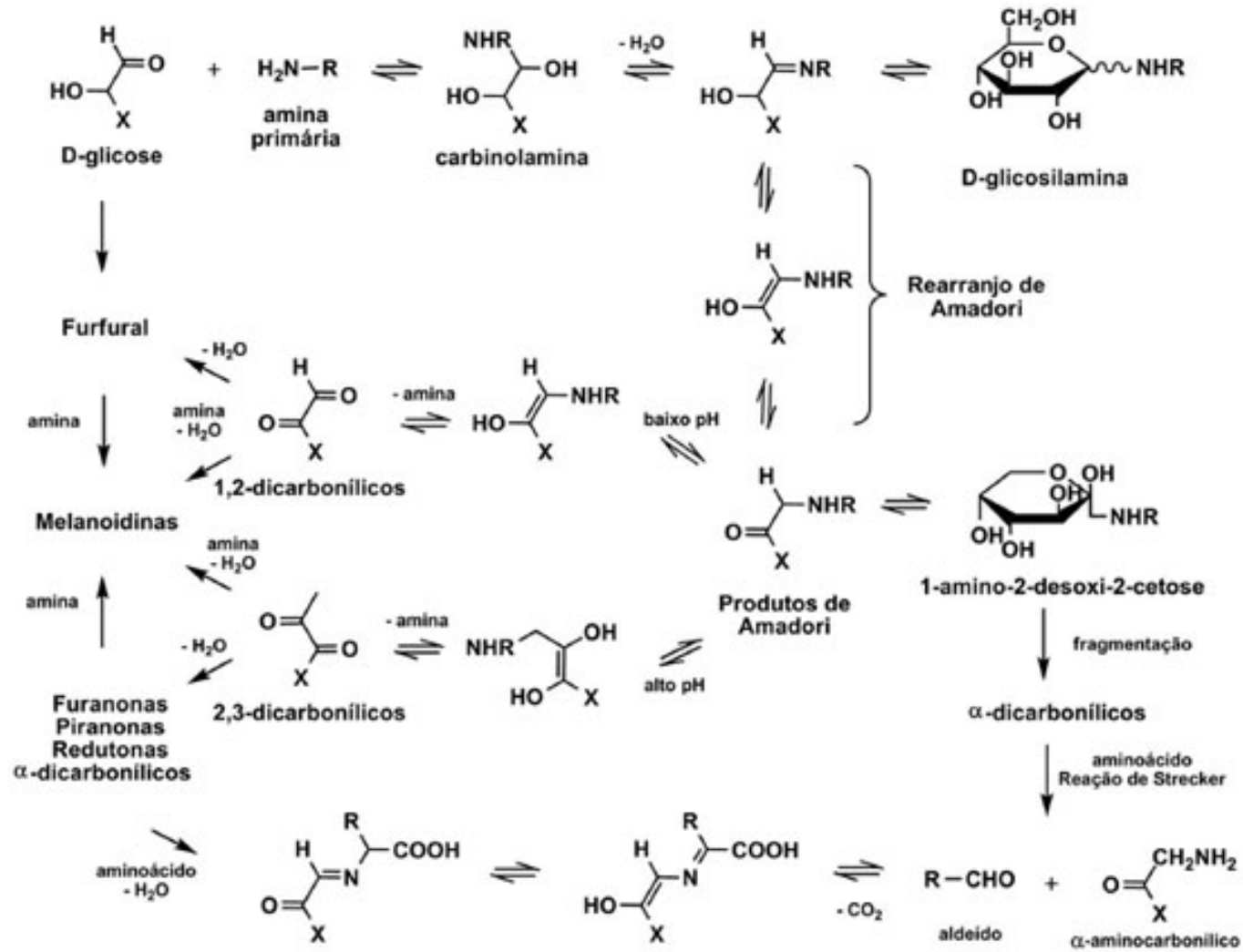
Também existe relato na literatura de que pentoses e hexoses sob condições ligeiramente ácidas podem ainda ser degradados gerando diversos compostos fenólicos. No entanto, a formação destes compostos ocorre em uma extensão muito menor (POPOFF; THEANDER, 1976).

Reações sob condições neutras ou ligeiramente ácidas entre carboidratos e compostos aminos também podem ser responsáveis por uma série de alterações, particularmente aos atributos sensoriais dos alimentos, como cor, sabor e aroma. Esta reação é denominada reação de Maillard, um tipo de escurecimento não enzimático extremamente importante, pois além de ter um efeito sobre os atributos sensoriais, pode ter efeitos negativos sobre o valor nutricional (aminoácidos e proteínas podem tornar-se indisponíveis para o metabolismo humano), bem como a formação de compostos mutagênicos ou mesmo potencialmente cancerígenos (MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000).

A reação de Maillard inicia-se a partir de um açúcar redutor com um composto amino, seguido de uma cascata de reações consecutivas e paralelas para formar uma variedade de produtos, como compostos voláteis, ácidos, lactonas, amidas ou ésteres, dependendo das condições de aquecimento, atividade de água e pH dos alimentos (MARTINS; JONGEN; VAN BOEKEL, 2000; SHIBAO; BASTOS, 2011).

Além disso, a degradação de Strecker é capaz de produzir aldeídos de Strecker e compostos de 2-aminocarbonilo, ambos intermediários críticos na geração de aromas durante a reação de Maillard. No entanto, eles também podem ser formados independentemente dos caminhos estabelecidos para a degradação de Strecker, onde os Rearranjos de Amadori ou Heyns também podem gerar compostos de 2-aminocarbonilo sem a formação de aldeído de Strecker (YAYLAYAN, 2003). A Figura 6 apresenta um esquema das principais etapas da reação de Maillard e os principais compostos formados.

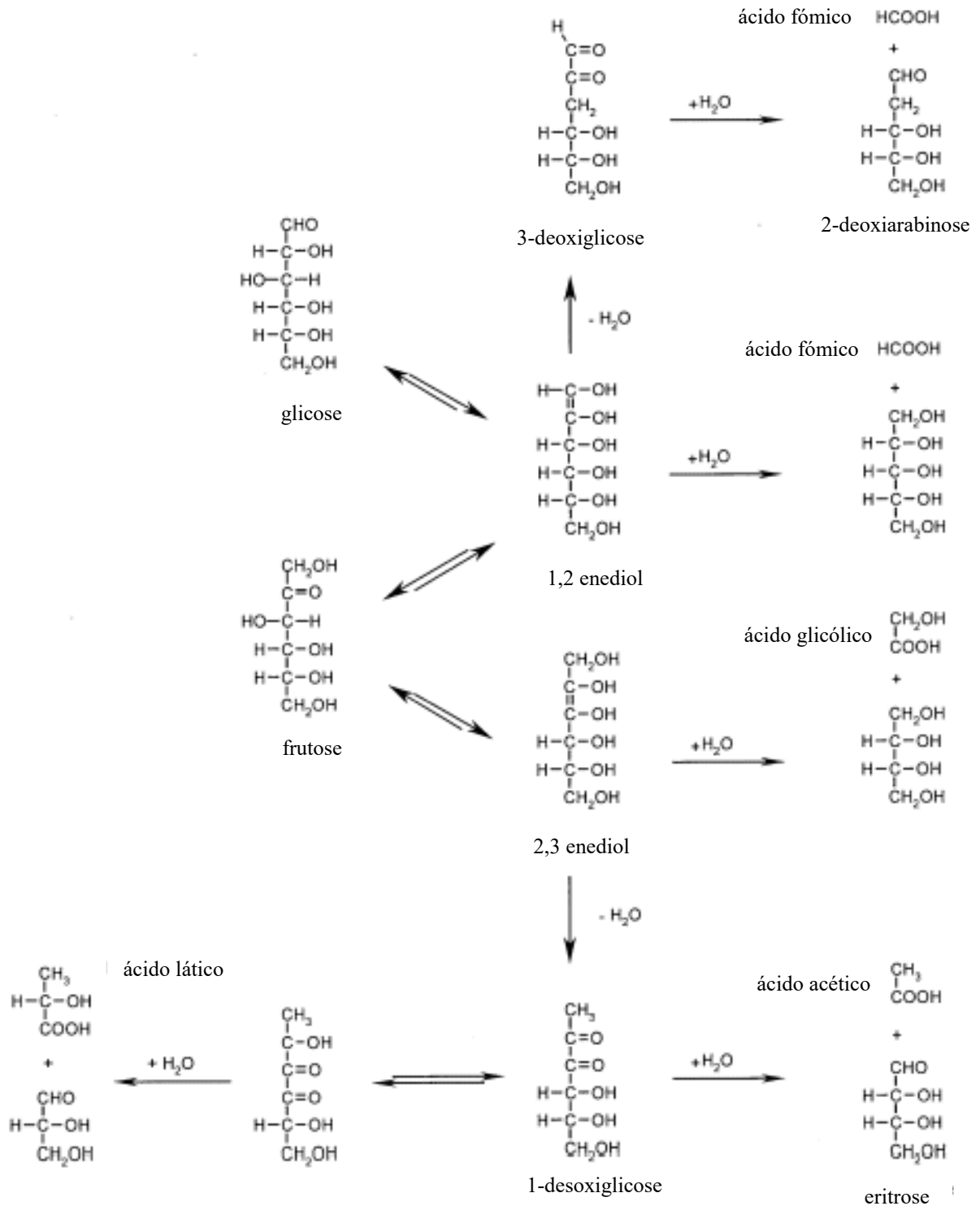
Figura 6 - Esquema das principais etapas da reação de Maillard e os produtos formados.



Fonte: Barbosa et al. (2016)

O aquecimento é outra forma de degradação dos açúcares, que podem gerar os ácidos alifáticos como fórmico, acético, glicólico e láctico (Figura 7).

Figura 7 - Esquema de reação para formação de ácidos a partir de produtos da degradação térmica primária de glicose.



Fonte: GINZ et al. (2000)

Acredita-se ainda que a sacarose possa ser o principal precursor destes ácidos. Arabinose, eritrose e 1,6-anidroglicose já foram identificados como produtos de reação da degradação térmica da sacarose e também subsequentemente precursores para a formação destes ácidos (BARLIANTO; MAIER, 1995; NAKABAYASHI, 1978). Verifica-se também que o tratamento térmico pode resultar na degradação de hexoses, formando assim vários compostos fenólicos, que podem ser intermediários ativos na formação de cor (ANET, 1965).

Existem outras investigações que verificaram a derivação de produtos ácidos a partir de carboidratos. Os mono e polissacarídeos em soluções alcalinas sofrem a reação do rearranjo do ácido benzílico, bem como reações que envolvem a perda de um ou mais átomos de carbono produzindo ácidos aldônicos e desoxialdônicos (DAVIDEK et al., 2006).

Além das reações químicas supracitadas, os açúcares podem ser degradados e convertidos em outros açúcares através de reações enzimáticas. Enzimas como a invertase, as α e β -glicosidase, α e β -amilase e β -frutosidase, que estão presentes no mel, podem reduzir estes compostos a açúcares de menor massa molecular. Os dissacarídeos e os trissacarídeos, como a sacarose e a maltotriose, são hidrolisados enzimaticamente a monossacarídeos. A maltotriose, por exemplo, é hidrolisada através de enzimas à maltose. Enquanto que a maltose é hidrolisada através da enzima maltase, originando duas moléculas de glicose (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

Os açúcares podem ainda ser convertidos a ácidos orgânicos, através de micro-organismos, como leveduras osmofílicas que causam a fermentação do mel. Durante a fermentação, os monossacarídeos, glicose e frutose são convertidas em dióxido de carbono e álcool etílico. O álcool é adicionalmente hidrolisado na presença de oxigênio e convertido em ácido acético e água (ROSENBERG, 1980). Isto, obviamente, contribui muito para o nível de acidez livre no mel.

Além dos açúcares, outros compostos podem ser facilmente degradados quando os alimentos que os contém são submetidos a diferentes processamentos e ao armazenamento. Os compostos fenólicos, por exemplo, degradam-se principalmente através da oxidação enzimática. Porém, dependendo do processamento, a biossíntese fenólica pode ser interrompida, devido à destruição destas enzimas causadoras de degradação. Assim, o processamento pode tanto manter o perfil de compostos fenólicos ou podem produzir alterações químicas que afetam características de qualidade, com a consequente perda ou aumento dos compostos fenólicos (PATRAS et al., 2010).

Compostos com características voláteis, como hidrocarbonetos, podem ter suas concentrações reduzidas, devido à volatilização, ocasionada pelo aumento de temperatura ou

armazenamento prolongado (DA SILVA et al., 2016). Processos oxidativos também acometem estes compostos, transformando-os em moléculas menores, como álcoois, que também podem ser volatilizados rapidamente. O ácido hexadecanóico pode ser formado devido à oxidação do aldeído dodecanal durante o armazenamento do mel (MOREIRA et al., 2010).

Outros compostos voláteis que podem ser gerados seriam o ácido benzóico, possivelmente formado por clivagem da cadeia lateral do ácido cinâmico ou pela oxidação do benzaldeído através da redução do álcool benzílico. Bem como, o ácido 2-fenilacético, que pode ser formado pela descarboxilação de ácido fenilpiruvico ou por oxidação de 2-feniletanol (KUŠ et al., 2013). Kaškonienė et al. (2008) sugerem ainda que vários aldeídos e cetonas podem ser formados pela oxidação de ácidos graxos no mel, particularmente ácidos linolênicos e linolênicos.

Conforme descrito acima, os compostos químicos presentes no mel podem sofrer transformações ao longo do armazenamento e/ou processamento. Desta forma, o conhecimento sobre essas mudanças é muito importante para melhor compreender as alterações no decorrer da sua vida de prateleira.

Neste sentido, muitos pesquisadores têm analisado diferentes méis de abelhas do gênero *Apis* durante o armazenamento e buscam descrever possíveis modificações que possam ocorrer durante e após estocagem e suas consequências, tanto a qualidade quanto a saúde. Os principais parâmetros analisados são os físico-químicos (acidez, pH, umidade, condutividade elétrica) e em especial, 5-hidroximetilfurfural e atividade enzimática (diastases e invertases) (CAVIA et al., 2007; CASTRO-VÁZQUEZ et al., 2008; DIMINS et al., 2006; KHALIL; SULAIMAN; GAN, 2010; NOMBRE et al., 2010; QAMER et al., 2013; SAHINLER; GUL, 2005; VISQUERT; VARGAS; ESCRICHE, 2014).

Contudo, outros compostos têm despertado atenção, como açúcares (PARVANOV; DINKOV; TANANAKI, 2012), compostos voláteis e não voláteis (DA SILVA et al., 2020b; CASTRO-VÁZQUEZ et al., 2008; MOREIRA et al., 2010; MOREIRA et al., 2007), aminoácidos (IGLESIAS et al., 2006), compostos fenólicos e atividade antioxidante (SARIC et al., 2012). Além das análises químicas, em alguns casos há também a realização de análise sensorial (CASTRO-VÁZQUEZ et al., 2008; NOMBRE et al., 2010) e microbiológica (RÓŽAŇSKA; OSEK, 2012). Os estudos também apresentam variações nas condições de armazenamento, com a utilização tanto da temperatura ambiente quanto elevada, produto com e sem exposição à luz e acondicionamento em frascos de vidro ou plástico. Porém tais informações ainda são insuficientes na determinação da vida de prateleira do mel de *Apis mellifera* e conseqüentemente no conhecimento dos efeitos da degradação.

Em méis de abelhas sem ferrão (Meliponini), poucos estudos avaliaram a estabilidade quando estocado em diferentes temperaturas. Jimenez et al. (2016) armazenaram méis de *S. mexicana* do México, as temperaturas de 25, 35 e 45 °C por 2 meses e avaliaram quanto as propriedades físico-químicas e antioxidantes. Os autores puderam observar que somente 5-HMF e atividade antioxidante tiveram diferenças significativas, com aumento nos valores, constatando que as mudanças observadas foram diretamente proporcionais ao aumento de temperatura.

Chuttong et al. (2015) armazenaram méis de *T. laeviceps-pagdeni* da Tailândia por 12 meses, as temperaturas de 4, 30 e 45 °C e avaliaram quanto as propriedades físico-químicas. Os autores constataram que umidade, cinzas, condutividade elétrica e açúcares (frutose, glicose e sacarose) não alteraram significativamente. Porém verificou-se que o armazenamento a temperatura mais alta (45 °C) resultou nas maiores alterações de pH, diástase e 5-HMF, enquanto o mel armazenado a 4 °C pelo mesmo tempo (12 meses) manteve as propriedades físico-químicas similares ao mel fresco.

Enquanto Almeida-Muradian, Stramm e Estevinho (2014) avaliaram mel de *M. subnitida* do Brasil, quando armazenado a -18, 4 °C e temperatura ambiente (temperatura não informada) por 12 meses, quanto aos parâmetros físico-químicos (umidade, acidez livre, 5-HMF, cinzas, condutividade elétrica, açúcares, pH e cor). Os autores não observaram diferenças significativas nos parâmetros analisados, quando o mel foi armazenado a -18 e 4 °C, sendo as principais alterações encontradas para o armazenamento a temperatura ambiente, com aumento de acidez livre, 5-HMF e condutividade elétrica).

3.4 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DO MEL

A degradação, conforme já mencionado, é um processo que ocorre naturalmente em todos os alimentos, não podendo ser completamente parada. No entanto, é possível retardar a taxa de deterioração, utilizando-se de técnicas de conservação, que podem ser desde modificações na formulação do produto, utilização de diferentes processamentos, embalagens, métodos específicos de armazenamento, ou ainda o simples manuseio (STEELE, 2004).

Em mel de *Apis mellifera*, apesar de este ser popularmente reconhecido como estável por longos períodos de armazenamento, não necessitando assim de qualquer técnica de conservação, é sabido que as indústrias processadoras deste mel utilizam frequentemente técnicas que visam evitar fermentações precoces, retardar processos de cristalização e aumentar fluidez para melhorar o seu envase (ESCRICHE et al., 2014). A principal técnica utilizada neste

caso é o tratamento térmico, o qual é recomendado pela Portaria nº6 de 25 de julho de 1985 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio das “Normas Higiênic-Sanitárias e Tecnológicas para Mel, Cera de Abelhas e Derivados” (BRASIL, 1985). Tal normativa propõe a utilização de determinados tempos e temperaturas, que variam de 52 °C por 470 minutos a 71,1 °C por 24 segundos, aplicados em méis de *Apis mellifera* recém desoperculados e centrifugados. Em méis de abelhas sem ferrão ainda não há regulamentação para aplicação de processamento que auxilie na conservação do produto.

O uso de técnicas de conservação em méis de abelhas sem ferrão é extremamente necessária. Isto porque esse mel possui características químicas particulares que propiciam a degradação, fazendo com que esse processo ocorra de forma mais acelerada, retardando a vida de prateleira. Dentre os componentes que afetam sua estabilidade, destaca-se o elevado conteúdo de água, capaz de aumentar sua predisposição a cristalização e favorecer a ação de leveduras, causando conseqüentemente a fermentação indesejada (BILUCA et al., 2016; SOUSA et al., 2016). Estas características resultam na deterioração da qualidade em termos de sabor ácido e aparência indesejável.

Neste sentido, algumas técnicas têm sido estudadas por alguns autores, outras já estão em prática mesmo sem o devido conhecimento sobre seus efeitos e eficácia. Dentre as técnicas, citam-se o tratamento térmico (BILUCA et al., 2014; BRAGHINI et al., 2020; BRAGHINI et al., 2019; CHONG; CHIN; YUSOF, 2017; RIBEIRO et al., 2018; SCHVEZOV et al., 2020), a refrigeração/congelamento (ALMEIDA-MURADIAN; STRAMM; ESTEVINHO, 2014; CHUTTONG et al., 2015; RIBEIRO et al., 2018), a desumidificação (SCHVEZOV et al., 2020), a maturação (RIBEIRO et al., 2018) e a termossonicação (CHONG; CHIN; YUSOF, 2017).

A refrigeração é o método de conservação mais utilizado em alimentos para retardar processos de degradação. É uma prática muito comum aos produtores e consumidores de méis mantê-los estocados sob refrigeração. Em méis de abelhas sem ferrão, Almeida-Muradian, Stramm e Estevinho (2014) e Chuttong et al. (2016) avaliaram méis armazenados a 4 °C durante 12 meses, enquanto Schvezov et al. (2020) avaliaram méis armazenados a 6 °C por 3 meses. Ambas as investigações constataram que os méis de abelhas sem ferrão estudados, mantiveram-se similares ao mel fresco quanto aos parâmetros físico-químicos e contagem de bolores e leveduras.

Além disso, Almeida-Muradian, Stramm e Estevinho (2014) e Ribeiro et al. (2018) avaliaram a influência do congelamento (freezer a -18 °C) sobre as características físico-químicas de méis de abelhas sem ferrão e verificaram que a maioria dos parâmetros avaliados

(5-HMF, atividade de água, pH, acidez e açúcares redutores) permaneceram inalterados após 365 e 180 dias, respectivamente. Porém, apesar de eficaz, a utilização da refrigeração ou congelamento em escala industrial pode tornar-se dificultosa, uma vez que o produtor precisará mantê-lo refrigerado após a colheita, no transporte e comercialização, o que pode gerar aumentos nos custos de produção. Além do mais, mesmo sendo viável, sua utilização dependerá de um plano de negócios minucioso que garanta lucros (VILLAS-BÔAS, 2012).

A desumidificação, que consiste na redução da água presente em méis de abelhas sem ferrão, também tem sido aplicada utilizando equipamentos ou salas de desumidificação. Ao reduzir o conteúdo de água nestes méis, em aproximadamente 20%, consegue-se evitar a ação de leveduras, contribuindo para prolongar sua vida de prateleira (VILLAS-BÔAS, 2012). Estudos quanto aos efeitos desta técnica e as características do produto ainda são escassos, porém já é uma prática comum aos produtores das regiões Norte e Nordeste do Brasil - em virtude da elevada temperatura do ambiente - principalmente por ser uma técnica de baixo custo. Recentemente, Schvezov et al. (2020) avaliaram méis de *T. fiebrigi* desumidificados e armazenados por 3 meses em temperatura ambiente (24 °C). Os autores observaram que a desumidificação foi eficaz em preservar as características físico-químicas do mel quando comparado ao produto sem tratamento (fresco). Porém, esta prática de redução do conteúdo de água interfere na fluidez do mel, uma das características peculiares, que notavelmente tem atraído à atenção de consumidores. Outra desvantagem associada à técnica é o fato de que, em estudo realizado por Biluca et al. (2014) os méis de abelhas sem ferrão apresentam resistência a formação de 5-HMF, possivelmente devido a sua elevada atividade de água, por estar associada a redução na velocidade da reação de Maillard, principal rota de formação do composto.

Outra técnica que tem sido aplicada aos méis de abelhas sem ferrão é a maturação. A maturação foi desenvolvida em comunidades rurais do nordeste do Maranhão (região Norte do Brasil), pela Associação dos Meliponicultores do Projeto Abelhas Nativas (AMELPAN) entre os anos de 2001 e 2010. Consiste em armazenar o mel em frascos de vidro hermeticamente fechados e mantê-los a temperatura ambiente. Desta forma, o mel passará por processos naturais de fermentação, adquirindo um sabor levemente ácido. O processo de maturação cessa após a estabilização do processo fermentativo, que pode ocorrer entre 3 a 6 meses. Até o momento, somente Ribeiro et al. (2018) avaliaram méis de tiuba (*M. fasciculata*) após processo de maturação por 180 dias as temperaturas de 20 e 30 °C. Os autores verificaram que após este período o mel manteve-se estável quanto às características físico-químicas (umidade, sólidos

solúveis, pH, acidez total e açúcares) e apresentou características sensoriais bem aceitas por consumidores.

Chong, Chin e Yusof (2017) em seus estudos, sugerem a utilização da termossonicação em méis de abelhas sem ferrão da Malásia. A termossonicação é um processo que combina ondas de calor e ultrassom. Como as ondas de ultrassom sozinhas podem não ser muito eficazes na destruição de micro-organismos, a termossonicação torna-se um método de processamento alternativo para melhorar este ponto. Segundo os autores, a técnica melhorou a qualidade dos méis, com relação a atividade de água, teor de umidade, intensidade de cor, viscosidade, conteúdo de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante, apesar dos teores de 5-HMF terem aumentado, comparado ao produto fresco. No entanto, ainda são necessários maiores estudos que apliquem a técnica e investiguem o mel após o seu armazenamento.

3.4.1 Tratamento térmico

A utilização do tratamento térmico em alimentos visa principalmente à redução de micro-organismos deteriorantes e patógenos, para estender a vida de prateleira. É definido geralmente em função dos parâmetros cinéticos de resistência térmica de determinado micro-organismo mais resistente e da sensibilidade ao calor dos atributos de qualidade do produto. Pode também ser associado a outros métodos de conservação, uma vez que a vida de prateleira dos alimentos não está somente relacionada ao tratamento térmico, mas também as condições de armazenamento, adição de conservantes, embalagens em condições anaeróbias e até mesmo a fermentação com micro-organismos selecionados (GIBBS, 2014).

O mel, em geral, não apresenta micro-organismos termoresistentes, ou seja, a principal preocupação ao aplicar o tratamento térmico concentra-se em evitar a degradação de compostos químicos que interfiram na sua qualidade nutricional e sensorial. Em função do conhecimento da prática comum em indústrias na utilização do calor em méis de *Apis mellifera* para facilitar o envase (reduzindo viscosidade), para retardar a cristalização e fermentação (eliminação de micro-organismos), muitos trabalhos vêm sendo realizados nos últimos anos com o intuito de investigar o impacto do tratamento térmico nas suas características físico-químicas e propriedades antioxidantes (AL-GHAMDI et al., 2019; CHAIKHAM; KEMSAWASD; APICHARTSRANGKON, 2016; CHAIKHAM; PRANGTHIP, 2015; ESCRICHE et al., 2014; KOWALSKI, 2013; PIMENTEL-GONZÁLEZ, 2016).

As investigações têm verificado, que em méis de *Apis mellifera*, o aquecimento causa diversas modificações a sua composição, como a redução da atividade de diastase, pH, umidade

(CHAIKHAMA; KEMSAWASD; APICHARTSRANGKOON, 2016; ESCRICHE et al., 2014), aminoácidos (ADNAN; CHUA; SARMIDI, 2014) e vitaminas (CHUA et al., 2014) e aumento de 5-HMF (ADNAN; CHUA; SARMIDI, 2014; CHAIKHAMA; KEMSAWASD; APICHARTSRANGKOON, 2016; KOWALSKI, 2013). Por outro lado, Chaikhama, Kemsawasd e Apichartsrangkoon (2016), Fauzi e Farid (2014), Kowalski (2013) e Pimentel-González et al. (2016) observaram um aumento na capacidade antioxidante dos méis quando submetidos a aquecimento de até 90 °C por 5 min.

Em méis de abelhas sem ferrão, Biluca et al. (2014), Braghini et al. (2019), Chong, Chin e Yusof (2017) e Ribeiro et al. (2018) e avaliaram o impacto do tratamento térmico nesses méis. Biluca et al. (2014) constataram que mesmo quando este mel é aquecido a temperatura elevada por longo período (75 °C por 24h), há uma menor formação de 5-HMF quando comparado ao mel de *Apis mellifera*, observando-se 695,40 mg kg⁻¹ de 5-HMF para mel de *Apis* e apenas 238,18 mg kg⁻¹ para mel de abelhas sem ferrão. Assim como, quando aplicado temperaturas entre 75 e 95 °C por 20 a 60 s não foi detectada formação do composto no mel de abelhas sem ferrão estudado. Chong, Chin e Yusof (2017) utilizaram temperaturas que variaram de 45 a 90 °C e tempos de 30 a 120 min e também verificaram que apesar do aumento do conteúdo de 5-HMF, os valores não ultrapassam 50 mg kg⁻¹ (máximo permitido pela legislação do mel de *Apis mellifera*), mesmo quando utilizado 95 °C por 120 min. Ribeiro et al. (2018) aplicaram tratamento térmico de 65 °C por 30 minutos em mel de *M. fasciculata* e não encontraram diferenças significativas, em relação aos parâmetros físico-químicos avaliados, quando comparado ao mel fresco, inclusive 5-HMF não foi detectado nas amostras. Análise sensorial também foi realizada e os resultados mostraram aprovação e aceitação por parte dos consumidores ao mel tratado termicamente. Braghini et al. (2019) investigaram o mel de *Melipona bicolor* antes e após aplicação de tratamentos térmicos de curto tempo (90-95 °C/15-60 s) e não observaram mudanças na qualidade do mel, evidenciando além disso, um aumento nos teores de compostos fenólicos e no poder redutor do ferro (FRAP).

Porém, ainda há uma escassez de estudos que avaliem o impacto do tratamento térmico sobre outras propriedades dos méis de abelhas sem ferrão, bem como a sua eficiência em manter estáveis suas características após o armazenamento. Neste sentido, até o momento, apenas Ribeiro et al. (2018) e Schvezov et al. (2020) realizaram tal investigação. Ribeiro et al. (2018), aplicaram tratamento térmico (65 °C/30min) em mel de *M. fasciculata* e armazenaram por 180 dias a -18 °C. Os autores avaliaram o perfil sensorial e constataram que o mel apresentou maiores médias para aparência, sabor, textura e aceitação global, comparado a amostra fresca, sendo também atribuído a esta amostra a maior média para o atributo “sabor de mel”. Enquanto

que, Schvezov et al. (2020) avaliaram propriedades físico-químicas (umidade, acidez, 5-HMF, atividade de diastase e pH) e microbiológicas (contagem de bolores e leveduras e coliformes) em mel de *T. fiebrigi* tratada termicamente a 75 °C/15s e armazenada a temperatura ambiente (24 °C) por 90 dias. Os autores verificaram que o mel não diferiu significativamente do controle (mel armazenado sem tratamento) na maioria das propriedades avaliadas, apresentando, inclusive, menor acidez que o mel no estado fresco.

Assim, é possível sugerir que a utilização do tratamento térmico nestes méis possa conferir estabilidade química por mais tempo que os méis que não passam por nenhum processamento. No entanto, deve-se atentar a temperatura de estocagem desses méis, pois temperaturas mais elevadas poderão modificar de forma mais rápida sua composição do que temperaturas mais baixas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 REAGENTES E SOLUÇÕES

Todos os reagentes utilizados possuíam pureza analítica e todas as soluções foram preparadas usando água desionizada de alta pureza (18.2 M Ω cm) obtida pelo sistema de ultra purificação de água Milli Q (Millipore, Bedford, EUA). Os reagentes hidróxido de sódio, biftalato de potássio, fenolftaleína, acetato de sódio, ácido ascórbico, ácido acético, amido solúvel, cloreto férrico, cloreto de sódio, iodeto de potássio, sulfato ferroso, ácido gálico e carbonato de sódio foram obtidos da Vetec (Rio de Janeiro, Brasil). O dodecil-sulfato de sódio (SDS), tetraborato de sódio (TBS), cafeína, reagente de Folin-Ciocalteu, 2,4,6-tris-(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ), 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), 5-hidroxiacetilfulfural (5-HMF), ácido clorídrico, acetato de etila e metanol foram obtidos da Sigma Aldrich (Santa Ana, EUA).

Os padrões de fenólicos (ácido 4-aminobenzóico, ácido salicílico, ácido cinâmico, ácido ρ -anísico, ácido mandélico, vanilina, ácido 4-hidroxiacetilbenzóico, ácido 3,4-dihidroxibenzóico, umbeliferona, ácido 4-hidroxicinâmico, ácido metoxifenilacético, ácido vanílico, ácido 4-metilumbeliferona, coniferaldeído, ácido cafeico, siringaldeído, escopoletina, ácido gálico, protocatecuico, vanílico, ρ -cumárico, resveratrol, kampferol, aromadendrina, hispidulina, quercetina, taxifolina, miricetina, rutina, ácido ferúlico, ácido siríngico, sinapaldeído, ácido sinápico, crisina, pinocembrina, apigenina, galangina, naringenina, eriodictiol, fustina, catequina, epicatequina, ácido elágico, carnosol, ácido clorogênico, ácido rosmarínico, isoquercetina, naringina) foram adquiridos da Sigma Aldrich (Santa Ana, EUA) e Fluka Chemie AG (Buchs, Suíça).

4.2 AMOSTRAS

É importante salientar que a produção de mel de abelhas sem ferrão é limitada (1-5 kg colmeia/ano) quando comparada ao mel de *Apis mellifera* (20 kg colmeia/ano). Somado a esse fator limitante, o produto é de difícil aquisição e comumente comercializado diretamente com o produtor, o que impôs um nível maior de dificuldade durante o planejamento dos experimentos. Uma vez que seriam necessárias avaliações bi ou trimestrais dos parâmetros físico-químicos para acompanhamento da identidade e qualidade das amostras por um período mínimo de 365 dias, foi preciso utilizar amostras de méis de diferentes espécies. Ressaltamos que este estudo tem caráter exploratório e inédito

As amostras de méis de abelhas sem ferrão utilizadas no estudo foram obtidas a partir de uma parceria com produtores do município de São Miguel do Oeste (latitude: 26° 43' 31" S, longitude: 53° 31' 05" W e altitude: 645 m) e de Santa Rosa de Lima (latitude: 28° 02' 21" S, longitude: 49° 07' 40" W e altitude: 240 m). Ambos pertencentes ao estado de Santa Catarina - Brasil. Os produtores realizaram a coleta na safra 2013/2014, de méis de cinco espécies diferentes: *Melipona quadrifasciata* (MQ1 e MQ2), *Melipona marginata* (MMA), *Melipona mondury* (MMO), *Melipona scutellaris* (MS) e *Melipona bicolor* (MB). A amostra de *M. bicolor* (MB), segundo os produtores, foi descrita como “mel comercial”. Isto porque esta consistiu em uma mistura de méis da mesma espécie de abelha, coletados em datas e colônias diferentes. Esta é uma das formas de comercialização desses méis, uma vez que esta espécie produz reduzidas quantidades. As demais amostras de méis foram coletadas no mesmo dia e foram provenientes de uma mesma colônia.

Após colheita e envase, os méis de cada espécie de abelha sem ferrão ficaram armazenados em congelador doméstico, por no máximo sete dias, até o envio ao laboratório de Química de Alimentos, localizado no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, na Universidade Federal de Santa Catarina, o qual ocorreu em caixas isotérmicas. Cada amostra de mel recebida (n=6), conteve entre 100 e 200 g, a qual foi homogeneizada com bastão de vidro e separada em três porções, em frascos de polipropileno, cada qual contendo entre 30-60 g. Ao final desse processo, totalizaram-se 18 amostras (3 amostras de mel para cada espécie de abelha sem ferrão). Logo após foram realizadas avaliações dos parâmetros físico-químicos, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos, sendo denominado mel fresco. Posteriormente, foram mantidas a -18 ± 2 °C até a conclusão dos estudos.

4.3 TRATAMENTO TÉRMICO

Para aplicação do tratamento térmico, os frascos contendo 30-60 g de mel de cada espécie de abelha sem ferrão foram novamente particionados em quantidades menores, em frascos de polipropileno (sem tampa), onde aproximadamente 10 g de mel foram aquecidos em banho-maria termostático (modelo 550, Fisatom, Brasil) até atingir $90 \pm 0,3$ °C. O tempo para atingir a temperatura desejada (90 °C) foi de 8 ± 2 min, sendo as amostras imediatamente restauradas à temperatura ambiente (25 °C) com o uso de um banho de gelo. A escolha do processamento (tempo, temperatura e quantidade de amostra) foi baseada em estudos preliminares (BRAGHINI et al., 2019). Para controle da temperatura do mel, uma amostra com termômetro digital inserido, localizado no ponto frio, foi aquecida e posteriormente resfriada,

junto com as demais amostras do estudo. Após aplicação do tratamento térmico, foram imediatamente analisados os parâmetros físico-químicos, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos dos méis de abelhas sem ferrão, sendo esses denominados tratados termicamente.

4.4 ARMAZENAMENTO

Após o tratamento térmico, as amostras foram armazenadas em triplicata, em câmaras protegidas da luz à temperatura ambiente ($22 \pm 1,5$ °C), sendo a temperatura registrada diariamente através de Data Logger calibrado (Highmed, modelo HM-160, São Paulo, São Paulo, Brasil), e em estufa de circulação de ar (Modelo Q315M25, Quimis, Brasil) a temperatura de $40 \pm 0,2$ °C, por um período de 90 dias. Amostras controle (sem tratamento térmico), dos méis de *M. mondury* (MMO) e de *M. scutellaris* (MS) também foram armazenadas nas mesmas condições. Estas amostras foram selecionadas por apresentarem maior quantidade (g), e também umidade intermediária, acidez abaixo de 50 mEq kg⁻¹ e maior teor de açúcares (dados não mostrados). Ao final do período de estocagem foram avaliados os parâmetros físico-químicos, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos. Além dessas condições, amostras de mel *M. bicolor* (MB), também foram armazenadas em geladeira (4 ± 2 °C), protegidas da luz, por 365 dias, a fim de reproduzir a forma como é freqüentemente armazenada pelos consumidores. Ao final desta condição de armazenamento (4° C por 365 dias) a amostra MB foi avaliada quanto ao teor de 5-HMF, capacidade antioxidante *in vitro* e perfil de compostos fenólicos.

4.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A umidade foi determinada utilizando-se um refratômetro de Abbé Tropenmodell I (Carl Zeiss, Alemanha), de acordo com o método 969.38 (AOAC, 2005), sendo ajustado o índice de refração (IR) obtido para a temperatura da amostra e calculado o teor de umidade através da equação de Wedmore (1955).

A acidez livre foi determinada de acordo com o método 962.19 (AOAC, 2005), onde massas de 10 g de mel foram diluídas em 75 mL de água desionizada e titulado com solução padronizada de NaOH 0,1 mol L⁻¹ até alcançar pH 8,5 (pHmetro DM-20, Digimed, Brasil).

A determinação da atividade de diastase seguiu o método 920.180 (AOAC, 2005), utilizando uma solução tamponada de amido e mel, os quais foram mantidos em banho-maria

(40 ° C) pelo tempo necessário para obter uma absorbância menor que 0,235 nm. Com os valores obtidos, foi construído um gráfico de absorbância em função do tempo para o cálculo tx. A atividade de diastase foi obtida pelo quociente 300/tx.

A quantificação de 5-HMF foi realizada utilizando sistema de eletroforese capilar (modelo 7100, Agilent Technologies, EUA), conforme descrito por Rizelio et al. (2012) e Biluca et al. (2014). Foi utilizado método de MEKC (do inglês *Micellar Electrokinetic Capillary Chromatography*), com as seguintes condições: eletrólito de corrida composto por tetraborato de sódio (TBS) 5 mmol L⁻¹ e dodecilsulfato de sódio (SDS) 120 mmol L⁻¹, em pH 9,3; capilar de 32 cm de comprimento total, 8,5 cm de comprimento efetivo e 50 µm de diâmetro interno; injeção por modo hidrodinâmico a -50 mbar durante 3 segundos; voltagem de -15 kV; temperatura de 25 °C; e detecção direta a 284 nm.

4.6 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE *in vitro*

Para a avaliação da capacidade antioxidante *in vitro* as amostras de mel foram pesadas (2,5 g), dissolvidas em água desionizada na proporção 1:2 (m/v) e, quando necessário, outras diluições foram realizadas.

A capacidade redutora de Folin-Ciocalteu foi determinada segundo o método espectrofotométrico de Singleton e Rossi (1965). Uma alíquota de 2,0 mL de água ultrapura e 100 µL de amostra diluída foram adicionadas a 0,5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu. Após 2 minutos, 1,5 mL de solução de carbonato de sódio (20%, m/v) foi adicionada ao sistema e a mistura foi completada com 10 mL de água ultrapura em um balão volumétrico. Este sistema foi incubado à temperatura ambiente por 120 min e a absorbância a 765 nm da mistura foi determinada usando um espectrofotômetro UV-visível (Spectro Vision SB 1810-60S, China). Os resultados foram calculados usando uma curva de calibração de ácido gálico (20 - 300 mg L⁻¹, em sete níveis de concentração equidistantes) e expressos como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) 100 g⁻¹ de mel.

O poder antioxidante redutor do ferro (FRAP) foi determinado seguindo metodologia descrita por Benzie e Strain (1996). O reagente FRAP foi preparado a partir de 300 mmol L⁻¹ de tampão acetato de sódio (pH 3,6), solução de 10 mmol L⁻¹ de 2,4,6-tris-(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ) em 40 mmol L⁻¹ de ácido clorídrico e solução de cloreto férrico a 20 mmol L⁻¹, numa proporção de volume de 10:1:1, respectivamente. A amostra diluída foi misturada com 3,6 mL de reagente FRAP e mantida por 10 min em banho-maria a 37 °C (± 1 °C). Após 10 minutos, a absorbância da amostra a 593 nm foi determinada usando espectrofotômetro UV-visível

(Spectro Vision SB 1810-60S, China). Os resultados foram expressos como $\mu\text{mol Fe}^{+2} 100 \text{ g}^{-1}$ de mel, usando uma curva padrão de sulfato ferroso hepta-hidratado ($25\text{-}400 \mu\text{mol L}^{-1}$, em seis níveis de concentração equidistantes).

A atividade de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) foi realizada segundo metodologia descrita por Brand-Williams, Cuverlier e Berset (1995), modificada por Bertonecelj et al. (2008). A absorvância de alíquotas de 2,9 mL da solução de radical DPPH ($0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ em metanol 80%) foi medida a 515 nm ($t = 0 \text{ min}$) usando espectrofotômetro UV-visível (Spectro Vision SB 1810-60S, China). Em seguida, 100 μL da amostra diluída foram adicionados, misturados e deixados por 30 minutos à temperatura ambiente sob abrigo da luz. A absorvância final foi obtida a 515 nm ($t = 30 \text{ min}$). A capacidade das amostras de sequestrar os radicais DPPH foi calculada como inibição (%) = $[1 - (\text{absorvância da amostra, } t = 30 \text{ min} / \text{absorvância da solução DPPH, } t = 0 \text{ min}) \times 100]$. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido ascórbico (AAE) 100 g^{-1} de mel a partir de uma curva padrão de ácido ascórbico ($8 - 80 \text{ mg L}^{-1}$, em seis níveis de concentração equidistantes).

4.7 PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS

A extração dos compostos fenólicos seguiu a metodologia descrita por Biluca et al. (2017). Foi realizada extração líquido-líquido (LLE) com 1 g de mel pesado em tubo cônico de polipropileno graduado (tipo Falcon), no qual foi adicionado 1 mL de solução de cloreto de sódio 2% (m/v) e submetidos à agitação constante (agitador de tubo Vortex, Fisatom 774, Brasil) por 1 minuto. A solução de mel diluída, foi particionada cinco vezes com 2 mL de acetato de etila (grau HPLC), totalizando 10 mL de fase orgânica, as quais foram combinadas, desidratadas com sulfato de sódio anidro por 15 minutos, filtradas em papel Watmam número 1 e concentradas em evaporador rotativo ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) (Modelo 802, Fisatom, Brasil) até secagem total. O extrato seco foi reconstituído em metanol:água (70:30, v/v) e analisado por LC-ESI-MS/MS após microfiltração em membrana $0,45 \mu\text{m}$ (Millipore, EUA).

A análise dos compostos fenólicos foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Biluca et al. (2017) utilizando um sistema de cromatografia líquida (1200 Series, Agilent Technologies, Alemanha), acoplado a um espectrômetro de massas híbrido triplo quadrupolo de íons linear (Q Trap 3200 Applied Biosystems/MDS Sciex, Canadá). O espectrômetro de massas foi operado no modo de ionização por eletropulverização negativa (TurboIonSpray Applied Biosystems/MDS Sciex, Canadá) e os parâmetros MS/MS foram mantidos em agulha capilar a -4500V ; gás cortina a 10 psi; a temperatura a $400 \text{ }^\circ\text{C}$; gás 1 e gás 2 a 45 psi; Gás CAD,

médio. Os compostos fenólicos foram separados em uma coluna Synergi (tamanho de partícula de 4,6 µm, 150 mm, 2,0 mm, Phenomenex, EUA) com a temperatura ajustada em 30 °C. As separações ocorreram sob eluição gradiente com uma fase móvel composta de metanol:água (95:5, v/v) e uma solução aquosa de ácido fórmico a 0,1% (v/v). O software *Analyst* versão 1.6.2 foi utilizado para o controle do sistema LC-ESI-MS/MS e análise de dados. Os resultados foram expressos em µg 100 g⁻¹.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os experimentos de tratamento térmico e armazenamento foram realizados em triplicata e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O teste de Tukey foi realizado para identificar diferenças significativas entre os tratamentos (mel fresco, tratado termicamente e armazenado). Os dados foram apresentados como média ± desvio padrão de nove repetições. Médias com valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativas. Para análise dos dados o *software* STATISTICA 13.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA) foi utilizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos (umidade, acidez livre e 5-HMF) dos méis de abelhas sem ferrão frescos, tratados termicamente (90 °C) e após o seu armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C. A Tabela 9 apresenta os dados para as amostras de mel de *M. quadrifasciata* (MQ1 e MQ2), *M. marginata* (MMA) e *M. bicolor* (MB). Enquanto a Tabela 10 apresenta os dados para as amostras de mel de *M. mondury* (MMO) e *M. scutellaris* (MS), incluindo as amostras controle (armazenadas sem tratamento térmico).

Tabela 8 - Parâmetros físico-químicos de méis de *Melipona quadrifasciata* (MQ1 e MQ2), *Melipona marginata* (MMA) e *Melipona bicolor* (MB) frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C.

Amostra	Parâmetros	Início do armazenamento		Após 90 dias de armazenamento	
		Fresco	TT	22 °C	40 °C
MQ1	Umidade % (m/m)	43,5 ± 0,3 ^b	38,8 ± 2,9 ^a	37,7 ± 0,1 ^a	37,8 ± 0,2 ^a
	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	60,6 ± 0,7 ^a	63,8 ± 3,7 ^{a,b}	68,9 ± 1,4 ^b	69,3 ± 2,7 ^b
	5-HMF (mg kg ⁻¹)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	230,8 ± 8,0
MQ2	Umidade % (m/m)	26,7 ± 0,2 ^{a,b}	26,1 ± 0,4 ^a	27,1 ± 0,6 ^b	26,0 ± 0,2 ^a
	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	22,4 ± 0,7 ^a	27,9 ± 0,9 ^b	28,0 ± 1,4 ^b	29,4 ± 0,6 ^b
	5-HMF (mg kg ⁻¹)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	91,6 ± 7,0
MMA	Umidade % (m/m)	27,0 ± 0,1 ^d	25,5 ± 0,1 ^b	26,2 ± 0,2 ^c	24,1 ± 0,2 ^a
	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	35,5 ± 0,7 ^b	22,2 ± 3,7 ^a	23,0 ± 1,4 ^a	25,9 ± 1,9 ^a
	5-HMF (mg kg ⁻¹)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	43,0 ± 0,9
MB	Umidade % (m/m)	30,8 ± 0,1 ^b	29,5 ± 0,1 ^{a,b}	28,4 ± 0,2 ^a	28,6 ± 0,2 ^a
	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	32,9 ± 0,6 ^a	31,5 ± 1,4 ^a	39,9 ± 0,1 ^b	39,3 ± 1,8 ^b
	5-HMF (mg kg ⁻¹)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	149,0 ± 4,4

Resultados expressos como média ± desvio padrão; ^{a-b} Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p < 0,05$); 5-HMF: 5-hidroximetilfurfural; TT: tratado termicamente; < LOQ: menor que o limite de quantificação: 0,31 mg L⁻¹.

Fonte: próprio autor.

Tabela 9 - Parâmetros físico-químicos de méis de *Melipona mondury* (MMO) e *Melipona scutellaris* (MS) frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C, incluindo amostra controle (méis sem tratamento térmico).

Amostra	Parâmetros físico-químicos	Início do armazenamento		Após 90 dias de armazenamento			
		Fresco	TT	22 °C		40°C	
				Controle	TT	Controle	TT
MMO	Umidade % (m/m)	27,4 ± 0,1 ^a	27,2 ± 0,2 ^a	29,0 ± 0,2 ^b	28,1 ± 0,2 ^b	27,7 ± 0,8 ^a	27,4 ± 0,2 ^a
	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	33,3 ± 1,4 ^{a,b}	32,4 ± 1,7 ^a	63,4 ± 2,1 ^c	34,9 ± 0,1 ^{a,b}	77,8 ± 1,8 ^d	36,9 ± 1,2 ^b
	5-HMF (mg kg ⁻¹)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	178,5 ± 7,6	134,6 ± 2,6
MS	Umidade % (m/m)	24,6 ± 0,1 ^a	24,7 ± 0,5 ^a	27,1 ± 0,8 ^b	25,5 ± 0,3 ^b	24,4 ± 0,2 ^a	24,2 ± 0,3 ^a
	Acidez livre (mEq kg ⁻¹)	19,3 ± 0,6 ^a	19,5 ± 1,5 ^a	30,1 ± 1,4 ^b	21,5 ± 0,7 ^a	37,9 ± 2,7 ^c	21,0 ± 0,8 ^a
	5-HMF (mg kg ⁻¹)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	111,7 ± 1,9	88,2 ± 6,9

Resultados expressos como média ± desvio padrão; ^{a-d} Letras iguais na mesma linha não diferem significativamente ($p < 0,05$); 5-HMF: 5-hidroximetilfurfural; TT: tratado termicamente; < LOQ: menor que o limite de quantificação: 0,31 mg L⁻¹.

Fonte: próprio autor.

Para o parâmetro umidade, verificou-se primeiramente que a maioria das amostras avaliadas apresentaram percentual de umidade abaixo do limite máximo estipulado pela legislação estadual para méis de abelhas sem ferrão (SAR, 2020), que é de 40 % (m/m), tanto para méis frescos, quanto méis tratados termicamente e armazenados. A única amostra que apresentou percentual acima deste valor foi a MQ1, no estado fresco (43,5 % m/m). Porém, após tratamento térmico e posterior armazenamento, em ambas temperaturas (22 e 40 °C), os percentuais de umidade desta amostra reduziram (38,8, 37,7 e 37,8 %, respectivamente), enquadrando-se ao limite imposto pela regulamentação.

Quanto à aplicação do tratamento térmico, as únicas alterações significativas para umidade foram obtidas nos méis de *M. quadrifasciata* (MQ1) e *M. marginata* (MMA). Estes méis apresentaram redução dos percentuais, comparado ao seu estado fresco. Possivelmente a realização do aquecimento em sistema aberto, tenha favorecido a perda de água. A redução do percentual de umidade após tratamento térmico, também foi observada em outros estudos com méis de abelhas sem ferrão: Chong, Chin e Yusof (2017) após a aplicação de 45-90 °C por 30 a 120 min em méis de abelhas sem ferrão da Malásia; e Braghini et al. (2019) após aplicação de 90-95 °C por 15 a 60 s em mel de *M. bicolor* brasileiro.

Quanto ao armazenamento de 90 dias, em ambas as temperaturas (22 e 40 °C), foi observado uma redução significativa dos percentuais de umidade para as amostras MQ1, MMA e MB (*M. bicolor*) (Tabela 9), quando comparado ao mel fresco. Este comportamento era esperado, visto que já havia ocorrido reduções após o tratamento térmico. No entanto, especificamente na amostra MMA, o percentual obtido após o armazenamento a 22 °C, foi maior que aquele obtido após o tratamento térmico, porém menor ao obtido no mel fresco. Esse aumento após o armazenamento a 22 °C, comparado ao mel tratado termicamente, também foi observado na amostra MQ2 (Tabela 9), mas não significativo; e de forma significativa nos méis de *M. mondury* (MMO) e *M. scutellaris* (MS) (Tabela 10). Além disso, as amostras controle MMO e MS, armazenadas a 22 °C também apresentaram aumento significativo nos percentuais de umidade, comparado ao início do armazenamento. Destaca-se ainda que os maiores percentuais de umidade foram obtidos com o controle, tanto na amostra MMO (29,0% m/m), quanto na amostra MS (27,1% m/m), após o armazenamento a 22 °C.

Diversas reações metabólicas podem ocorrer no mel ao longo do armazenamento. Neste sentido, a formação de água pode ocorrer a partir da oxidação da glicose pela enzima glicose oxidase, que forma ácido glucônico e peróxido de hidrogênio. O peróxido de hidrogênio formado pode então decompor-se em água e oxigênio. Além disso, o processo pode ser

acelerado na presença de catalisadores metálicos, como o ferro e o manganês (minerais presentes no mel), e a enzima catalase, que acelera a produção de peróxido de hidrogênio (FRANCHINI et al., 2008; TAO et al., 2009).

E na literatura, outros estudos também observaram um aumento dos percentuais de umidade após o armazenamento, tanto de méis de abelhas sem ferrão, quanto de méis de *Apis mellifera*. Chuttong et al. (2015) ao armazenarem méis de *T. laeviceps-pagdeni*, sem qualquer processamento prévio, verificaram um aumento no teor de umidade, o qual passou de 24,7 g 100 g⁻¹ (mel fresco) a 25,6 e 25,4 g 100 g⁻¹ após armazenamento de 180 dias a 30 e 45 °C, respectivamente; e a 25,5 e 25,4 g 100 g⁻¹ após armazenamento de 365 dias, a 30 e 45 °C, respectivamente. Assim como, Da Silva et al. (2020a) evidenciaram aumento do teor de umidade após armazenamento do mel de *Apis mellifera* (sem processamento), e encontraram teores que passaram de 17,0 g 100 g⁻¹ no mel fresco a 18,2 g 100 g⁻¹ no mel após armazenamento de 450 dias a 20 °C.

Para acidez livre, todas as amostras frescas apresentaram níveis abaixo do máximo estipulado pela legislação estadual (SAR, 2020) para méis de abelhas sem ferrão, que é de 100 mEq kg⁻¹. Apesar de um aumento do nível de acidez, em algumas amostras, após tratamento térmico e armazenamento, os níveis ainda assim permaneceram abaixo de 100 mEq kg⁻¹, em conformidade com a regulamentação estadual vigente (SAR, 2020).

Conforme já mencionado, após a aplicação do tratamento térmico houve um aumento significativo da acidez livre na amostra de mel de *M. quadrifasciata* (MQ2), enquanto na amostra de mel de *M. marginata* (MMA) houve uma redução significativa deste parâmetro (Tabela 9). Sabe-se que a acidez livre do mel se dá pela presença dos ácidos orgânicos, principalmente ácido glunônico. Esses ácidos estão em constante equilíbrio com suas lactonas correspondentes e alguns íons inorgânicos. Além disso, o aquecimento é uma forma de degradação, que pode resultar no aumento ou redução da acidez (GOMES et al., 2009; DA SILVA et al., 2016). A degradação térmica de alguns açúcares pode gerar ácidos orgânicos específicos que resultam no aumento da acidez (BARLIANTO; MAIER, 1995). Por outro lado, a temperatura de aquecimento pode propiciar a volatilização destes ácidos orgânicos, reduzindo estes valores (DA SILVA et al., 2016).

Após o armazenamento, tanto à temperatura de 22 °C quanto à temperatura de 40 °C, os méis de *M. quadrifasciata* (MQ1 e MQ2) e de *M. bicolor* (MB) apresentaram resultados de acidez livre significativamente superiores aos méis frescos (Tabela 9). Este é um comportamento esperado durante o armazenamento de méis (tanto de *Apis mellifera* quanto de abelhas sem ferrão) sem processamento térmico, devido à ação enzimática e/ou processos de

fermentação, que acarretam o aumento da concentração de ácidos orgânicos (DA SILVA et al., 2020a; SERAGLIO et al., 2021). Porém, neste caso, possivelmente a aplicação do tratamento térmico tenha ocasionado a redução de contagens de micro-organismos responsáveis pela fermentação (como leveduras e bactérias lácticas), e ainda degradado enzimas responsáveis pelos processos enzimáticos (como glicose-oxidase). Portanto, a hipótese sugerida para o aumento da acidez livre nesses méis tratados termicamente e armazenados seja consequência de outras reações, como a degradação térmica de açúcares (GINZ et al., 2000).

Por outro lado, quando comparado esses valores aos encontrados no mel tratado termicamente, somente a amostra MB apresentou aumento significativo. Assim, é possível verificar que as demais amostras mantiveram os níveis de acidez livre estáveis após o tratamento térmico, em ambas as temperaturas de armazenamento após 90 dias, não apresentando diferenças significativas. Desta forma, é possível sugerir que nesta situação o tratamento térmico foi útil para a manutenção da acidez livre. Possivelmente este comportamento se apresente como reflexo da desaceleração de processos fermentativos e enzimáticos, principais responsáveis pelo aumento da acidez durante o armazenamento de méis, como mencionado anteriormente, devido ao uso do tratamento térmico.

Ainda, analisando os dados obtidos na Tabela 10, para os méis de *M. mondury* (MMO) e *M. scutellaris* (MS), pode-se verificar que as amostras controle (méis não tratados termicamente) tiveram o conteúdo de acidez livre aumentado significativamente após o armazenamento a 22 e 40 °C, quando comparado ao mel fresco. Resultados similares foram encontrados por outros autores, que avaliaram méis de abelhas sem ferrão armazenados em diferentes temperaturas, sem qualquer processamento prévio. Chuttong et al. (2015) verificaram aumento da acidez total em méis de *T. laeviceps-pagdeni*, de 105,1 mEq kg⁻¹ no mel fresco para 126,6 e 146,1 mEq kg⁻¹, após armazenamento de 6 meses a 30 e 45 °C, respectivamente; e aumento para 122,3 e 147,2 mEq kg⁻¹ após 12 meses de armazenamento nas mesmas condições de temperatura (30 e 45 °C). Enquanto Almeida-Muradian, Stramm e Estevinho (2014) observaram aumento da acidez livre em mel de *M. subnitida*, de 24,9 mEq kg⁻¹ no mel fresco para 31,0 mEq kg⁻¹ após armazenamento de 12 meses a temperatura ambiente (temperatura não informada).

Em contrapartida, assim como os dados obtidos para as amostras na Tabela 9, os méis tratados termicamente de ambas as espécies estudadas (MMO e MS) (Tabela 10), não apresentaram diferença significativa nos níveis de acidez livre após armazenamento em ambas as temperaturas (22 e 40 °C), quando comparado ao mel tratado termicamente no início do armazenamento. Estes dados reforçam a hipótese de que o uso do tratamento térmico pode ser

útil na estabilidade da acidez livre de méis de abelhas sem ferrão após o armazenamento, uma vez que pode atuar, principalmente na redução/eliminação dos micro-organismos responsáveis por processos fermentativos que acometem frequentemente o mel durante o seu armazenamento, elevando a acidez. Em trabalho realizado por Braghini et al. (2019), os autores verificaram que o tratamento térmico de 90 e 95 °C por 15 e 60 s foi capaz de reduzir contagens de bolores e leveduras, coliformes termotolerantes e *Salmonella* sp. em méis de *M. bicolor*.

Os valores de 5-HMF permaneceram abaixo do limite de quantificação (LOQ) (0,31 mg L⁻¹) após tratamento térmico para todas as amostras (Tabelas 9 e 10). Esses achados concordam com os resultados obtidos por Biluca et al. (2014) em mel de abelha sem ferrão (Meliponini) submetido a 75-95 °C por 20-60 s; Braghini et al. (2019) em méis de *M. bicolor* submetidos a 90-95 °C por 15-60 s; Ribeiro et al. (2018), em mel de *M. fasciculata* após tratamento térmico de 65 °C por 30 min; e Schvezov et al. (2020) em mel de *T. fiebrigi* após tratamento térmico de 72 °C por 15 s, onde todos não detectaram a formação de 5-HMF. Segundo a regulamentação estadual para méis de abelhas sem ferrão (SAR, 2020), este produto não deve ultrapassar o limite de 40,0 mg kg⁻¹. Portanto, todas amostras avaliadas no estudo, tanto méis frescos quanto após tratamento térmico, estão de acordo com a legislação.

Segundo Biluca et al. (2014) é possível que o mel de abelhas sem ferrão possua resistência a formação deste composto, em virtude principalmente das suas características físico-químicas, como a elevada umidade e o predomínio de frutose. Teores elevados de glicose aumentam a velocidade da reação de Maillard, que propicia a formação de 5-HMF. Enquanto, a elevada umidade reduz a velocidade, e a formação de 5-HMF é inibida (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018). Biluca et al. (2014) também verificaram uma menor formação de 5-HMF em méis de abelhas sem ferrão (238,2 mg kg⁻¹), em comparação ao mel de *Apis mellifera* (695,4 mg kg⁻¹), após aquecimento a 75 °C por 24 h. Por outro lado, Chong, Ching e Yusof (2017) verificaram um aumento no teor de 5-HMF no mel de Kelulut (*Trigona* sp.) após tratamento térmico. Porém, teores de 5-HMF maiores que 30 mg kg⁻¹ (máximo permitido para o mel de Kelulut, da Malásia) (MALÁSIA, 2017), só foram verificados após a utilização de 90 °C por 100 e 120 min, encontrando no máximo 42,4 mg kg⁻¹.

Quanto ao armazenamento de 90 dias, verificou-se que os méis armazenados a temperatura de 22 °C não apresentaram níveis quantificáveis de 5-HMF, assim como no mel fresco (Tabelas 9 e 10). Resultados diferentes foram encontrados por Schvezov et al. (2020), que verificaram a formação de 5-HMF em mel de *T. fiebrigi* tratado termicamente (72 °C/15s) e armazenado por 90 dias a temperatura ambiente (24 °C), encontrando valor de 49 mg kg⁻¹. Assim como Almeida-Muradian, Stramm e Estevinho (2014), os quais verificaram um aumento

significativo de 5-HMF em méis de *M. subnitida* armazenados, sem processamento prévio, a temperatura ambiente (temperatura não informada) por 4, 8 e 12 meses, com valores de 18,08, 33,36 e 42,98 mg kg⁻¹, respectivamente. Como a formação de 5-HMF pode ocorrer por diversas vias (reação de Maillard, desidratação de hexoses em meio ácido e/ou reações de caramelização), a depender da composição do mel, além dos fatores extrínsecos (como aquecimento), pode-se presumir que este seja o principal fator responsável pelas divergências observadas entre os resultados obtidos neste estudo e os estudos supracitados. Além disso, os resultados encontrados neste estudo possuem caráter exploratório, sendo necessário maiores investigações, que utilizem maior tempo de estocagem, e maior número de amostras. Ainda assim vale ressaltar que apesar do aumento do teor de 5-HMF encontrado em outros estudos (ALMEIDA-MURADIAN; STRAMM; ESTEVINHO; 2014; SCHVEZOV et al., 2020), os valores ficaram abaixo do limite máximo permitido para méis de *Apis mellifera* (60 mg kg⁻¹) (BRASIL, 2000). Portanto, tais resultados sugerem que o mel de abelhas sem ferrão possa ser resistente à formação de 5-HMF quando submetido ao aquecimento ou durante o armazenamento em temperatura ambiente.

Por outro lado, o armazenamento a 40 °C gerou níveis de 5-HMF quantificáveis, tanto nas amostras de méis tratados termicamente (43,0 a 231 mg kg⁻¹) (Tabelas 9 e 10), quanto nas amostras controle (sem tratamento térmico) de mel de *M. mondury* (MMO) e *M. scutellaris* (MS) (Tabela 10). Neste caso, todas as amostras estão em desconformidade com a regulamentação estadual, que estabelece limite máximo de 40,0 mg kg⁻¹ (SAR, 2020). Outros estudos que avaliaram méis de abelhas sem ferrão armazenados em temperatura elevada, e sem qualquer tratamento prévio, também relatam aumento do teor de 5-HMF. Isto foi observado por Chuttong et al. (2016), em mel de *T. laeviceps-pagdeni*, o qual apresentava no estado fresco 33 mg kg⁻¹ de 5-HMF, e após armazenamento a temperatura de 30 e 45 °C por 6 meses, apresentou 212,2 e 3881,0 mg kg⁻¹, e após 12 meses, 431,3 e 5667,5 mg kg⁻¹, respectivamente. Enquanto Jimenez et al. (2016) observaram uma formação de 5-HMF gradativa com o aumento da temperatura de estocagem (25, 35 e 45 °C por 2 meses) em méis de *S. mexicana*. O mel fresco apresentava 16,4 mg kg⁻¹, e após armazenamento a 25 °C apresentou teor de 5-HMF de 25,45 mg kg⁻¹, a 35 °C de 43,7 mg kg⁻¹, e a 45 °C de 55,20 mg kg⁻¹ (JIMENEZ et al., 2016).

Verificou-se ainda que os valores de 5-HMF foram superiores para a amostra controle (sem tratamento térmico), comparado ao mel termicamente tratado, em ambas amostras (MMO e MS) (Tabela 10) após o armazenamento de 90 dias a 40 °C. Neste sentido, comparando aos dados obtidos para acidez livre, onde é conhecido que seus níveis interferem na velocidade das reações responsáveis pela formação de 5-HMF, percebe-se maior acidez nas amostras controle,

comparado as amostras tratadas termicamente. Ou seja, possivelmente os menores teores de 5-HMF observados nas amostras tratadas termicamente seja reflexo do impacto que o tratamento térmico causou na manutenção de níveis baixos de acidez livre nestes méis, mesmo após o armazenamento a 40 °C.

Quanto ao armazenamento a 4 °C de 365 dias, em mel de *M. bicolor* (MB) tratado termicamente, não foi observado valores quantificáveis de 5-HMF (<LOQ - 0,31 mg kg⁻¹). Chuttong et al. (2016) ao armazenarem mel de *T. laeviceps-pagdeni*, sem tratamento térmico, a 4 °C por 365 dias verificaram que o teor de 5-HMF aumentou de 33,0 mg kg⁻¹ (início do armazenamento), a 35,1 mg kg⁻¹, não diferindo estatisticamente. Da mesma forma que Almeida-Muradian, Stramm e Estevinho (2014), verificaram no mel de *M. subnitida*, sem tratamento térmico, um aumento no teor de 5-HMF, mas não significativo, após 365 dias na geladeira (temperatura não informada) (7,85 mg kg⁻¹ no início do armazenamento e 8,60 mg kg⁻¹ ao final dos 365 dias). Assim como neste estudo, os autores perceberam que o mel de abelha sem ferrão armazenado em baixas temperaturas por um período prolongado não altera níveis de 5-HMF, comparado ao mel fresco. Além disso, o resultado obtido neste estudo mostrou que a utilização do tratamento térmico não interferiu no teor de 5-HMF do mel, mesmo após armazenamento prolongado, sugerindo que seu uso em conjunto com a refrigeração pode tornar-se uma técnica eficiente na manutenção da qualidade do mel de abelhas sem ferrão. Porém, ainda são necessárias maiores investigações, que avaliem outros parâmetros importantes na determinação da qualidade, como a acidez livre, os açúcares redutores e a umidade, bem como um maior número de amostras.

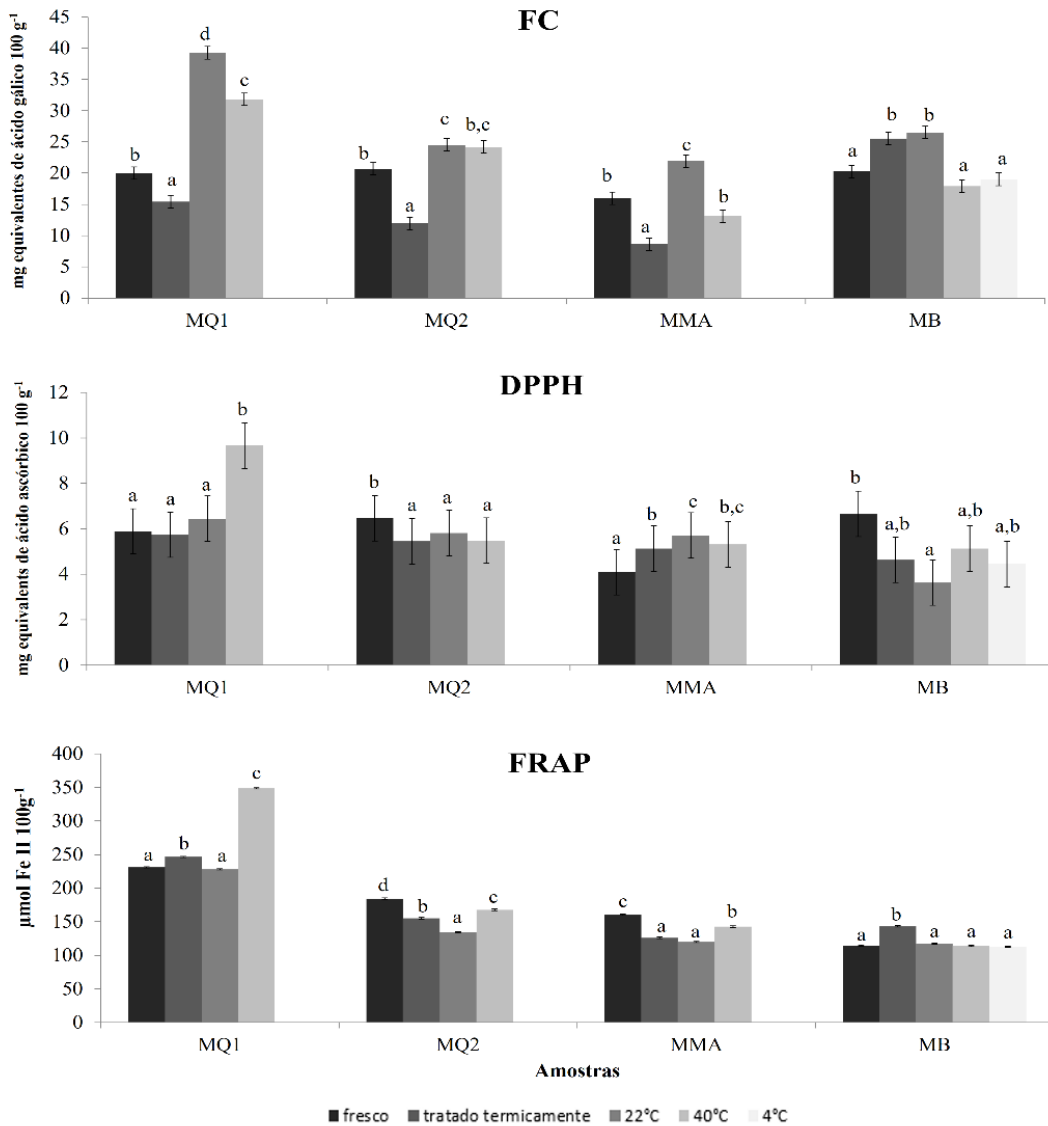
Para a atividade de diastase, todas as amostras apresentaram menos de 3 unidades Göthe, em sua forma fresca. Assim, tal determinação após tratamento térmico e armazenamento tornou-se inviável, devido à baixa atividade. Essa é uma característica comum dos méis de abelha sem ferrão, conforme já verificado em outros estudos (AVILA et al., 2018; NORDIN et al., 2018).

Assim, os dados encontrados neste estudo apontaram para a eficiência da utilização do tratamento térmico em manter níveis de acidez livre estáveis durante o armazenamento, bem como a redução da formação de 5-HMF, quando o mel de abelha sem ferrão for armazenado a temperatura de 22 °C.

5.2 CAPACIDADE ANTIOXIDANTE *in vitro*

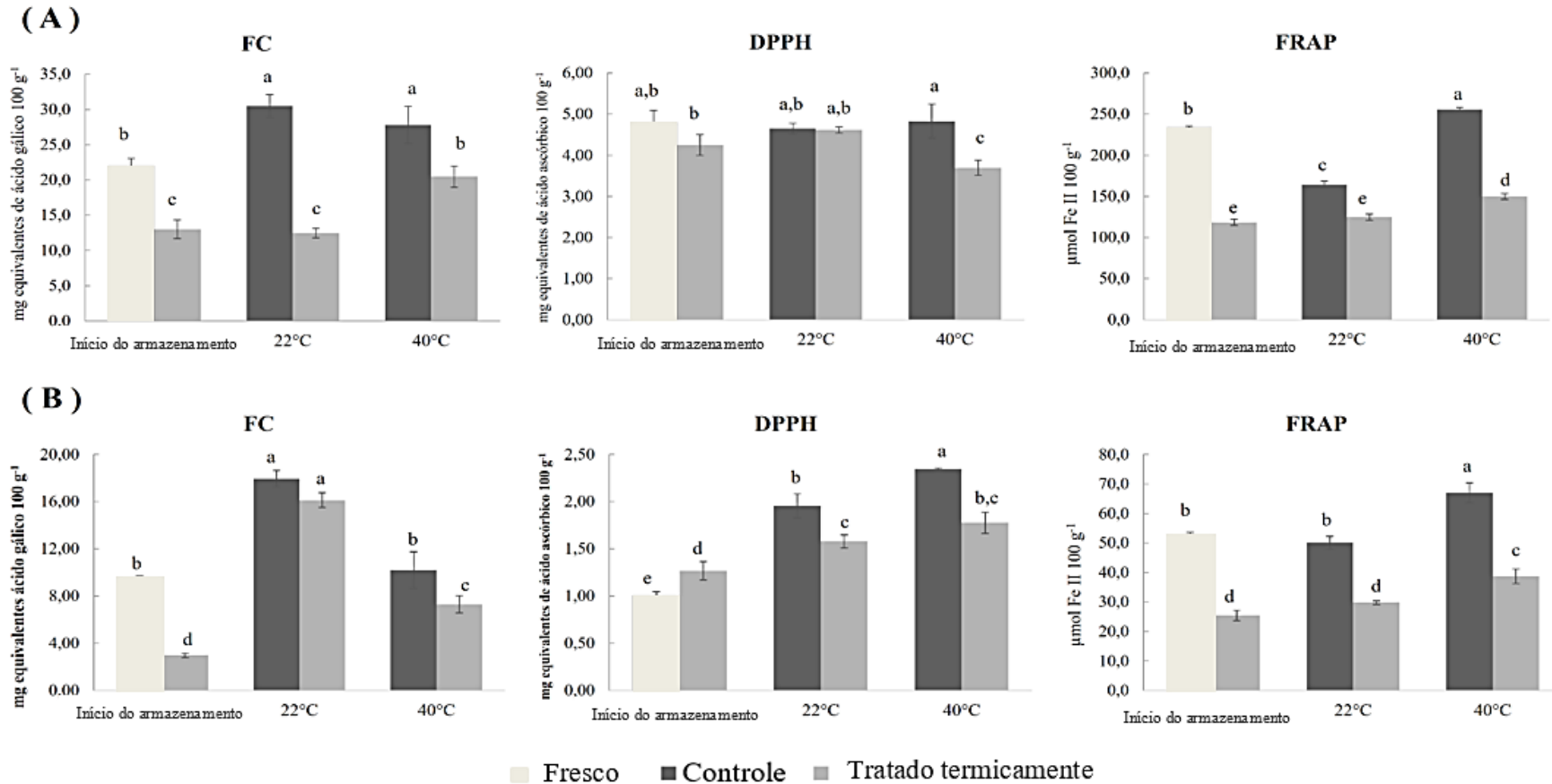
A capacidade antioxidante *in vitro*, avaliada pelos ensaios da capacidade redutora de Folin-Ciocalteu (FC), capacidade de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e poder redutor do ferro (FRAP) dos méis de abelhas sem ferrão frescos, tratados termicamente e após seu armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C, são mostrados nas Figuras 8 e 9. A Figura 8 apresenta os resultados para as amostras de mel de *M. quadrifasciata* (MQ1 e MQ2), *M. marginata* (MMA) e *M. bicolor* (MB), incluindo os resultados da amostra MB após o armazenamento de 365 dias a 4 °C. A Figura 9 apresenta os resultados para as demais amostras, o mel de *M. mondury* (MMO) e mel de *M. scutellaris* (MS), incluindo suas amostras controle (sem tratamento térmico) armazenadas nas mesmas condições (22 e 40 °C).

Figura 8 - Capacidade redutora de Folin-Ciocalteu (FC), capacidade de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e poder redutor do ferro (FRAP) em méis de abelhas sem ferrão frescos, tratados termicamente (90 °C) e após armazenamento a 22 e 40 °C de 90 dias, e a 4 °C de 365 dias (amostra MB).



^{a-c} Letras iguais nas barras, para uma mesma amostra, não diferem significativamente ($p < 0,05$); MQ1 e MQ2: *Melipona quadrifasciata*, MMA: *Melipona marginata* e MB: *Melipona bicolor*. Fonte: próprio autor

Figura 9 - Capacidade antioxidante *in vitro* dos méis de *Melipona mondury* - MMO (A) e *Melipona scutellaris* - MS (B) tratados termicamente (90 °C), após armazenamento de 90 dias a temperatura de 22 e 40 °C, incluindo amostra controle (sem tratamento térmico).



^{a-c} Letras iguais nas barras não diferem significativamente ($p < 0,05$). FC: capacidade de redução do Folin-Ciocalteu; DPPH: atividade de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH); FRAP: poder redutor do ferro
 Fonte: próprio autor

Avaliando o efeito do tratamento térmico, a partir dos dados mostrados nas Figuras 8 e 9, verificou-se que a capacidade redutora por Folin-Ciocalteu (FC), diminuiu significativamente na maioria das amostras após o tratamento térmico, comparado ao mel fresco. A exceção foi a amostra de mel de *M. bicolor* (MB), a qual apresentou um aumento significativo. Similar a estes resultados, o poder redutor do ferro (FRAP), na maioria das amostras, também reduziu significativamente, enquanto somente as amostras MB e MQ1 apresentaram aumento significativo.

Os mecanismos de atuação desses métodos (FC e FRAP), para avaliação da capacidade antioxidante *in vitro*, são similares. Ambos baseiam-se na transferência de elétrons de compostos com capacidade redutora. O ensaio FC se dá por meio da reação de oxi-redução do reagente de Folin-Ciocalteu, e o ensaio de FRAP na redução do complexo Fe^{3+} (2,4,6-Tripiridil-s-triazina-TPTZ) a Fe^{2+} (ferroso-tripiri-diltriazina) em baixo pH (SHAHIDI; ZHONG, 2015). Provavelmente os compostos envolvidos nestas reações, tais como vitamina C, carotenoides, aminoácidos, terpenos, entre outros, tenham sido degradados após aquecimento, e isto explicaria a diminuição da capacidade antioxidante nos méis após tratamento térmico (DA SILVA et al., 2016).

Por outro lado, os únicos estudos que investigaram o efeito do tratamento térmico na capacidade antioxidante de méis de abelhas sem ferrão, observaram o inverso. Chong, Ching e Chua (2018) ao utilizarem temperaturas de 45 a 90 °C por 30 a 120 min em mel de Kelulut constataram um aumento da capacidade antioxidante, avaliada pelo método FC. Inclusive, Braghini et al. (2019) também avaliaram mel de *M. bicolor*, e similar a este estudo, verificaram aumento na capacidade redutora de Folin-Ciocalteu e no poder redutor de FRAP após aplicação de tratamento térmico de 90-95 °C por 15-30 s. Neste caso, acredita-se que o aumento possa estar relacionado a outras reações químicas desencadeadas pelo aquecimento, capazes de gerar outros compostos com esse potencial, a exemplo dos produtos da reação de Maillard (MRPs), ou mesmo a conversão de compostos fenólicos (BRAGHINI et al., 2019). Além disso, as diferenças observadas também podem ser devido aos méis de diferentes espécies de abelhas sem ferrão, visto que cada qual possui composição química singular, que interfere na atuação dos métodos, uma vez que o número de amostras avaliadas neste estudo é insuficiente para estas conclusões. Após o armazenamento a 22 °C, foi verificado que as amostras MQ1, MQ2 e MMA (Figura 8) apresentaram um aumento significativo da capacidade redutora de FC, comparado ao mel fresco e também ao mel tratado termicamente. A amostra MB, também apresentou aumento significativo da capacidade, mas comparado ao mel após tratamento térmico a diferença não foi significativa. Após o armazenamento a 40 °C, somente a amostra MQ1

apresentou um aumento significativo na capacidade redutora de FC comparado ao mel fresco e tratado termicamente. As demais amostras não apresentaram diferença significativa, e o mel de *M. bicolor* (MB), comparado ao mel após tratamento térmico, apresentou uma diminuição significativa da capacidade.

Considerando o ensaio DPPH, exposto na Figura 8, verifica-se que em ambas as temperaturas de armazenamento (22 e 40 °C) a amostra MMA apresentou aumento significativo da capacidade, enquanto a amostra MQ2 apresentou diminuição significativa, comparado ao mel fresco. Além disso, a 22 °C, também houve redução significativa na amostra MB, e a 40 °C um aumento significativo na amostra MQ1, comparado ao mel fresco. Comparando-se ainda aos méis tratados termicamente no início, somente a amostra MQ1 apresentou aumento significativo, tanto armazenada a 22 °C, quanto a 40 °C. Para as demais amostras (MQ2, MMA e MB), não foram observadas diferenças significativas.

Em relação ao FRAP, as principais alterações ocorreram com a diminuição significativa do poder redutor nas amostras MQ2 e MMA (Figura 8), após o armazenamento a 22 °C, comparado ao mel fresco. Comparando-se ao mel tratado termicamente, também houve redução significativa nas amostras MQ1, MQ2 e MB. Considerando o armazenamento a 40 °C, novamente as amostras MQ2 e MMA apresentaram uma diminuição significativa do seu poder redutor, comparado ao mel fresco. Enquanto, a amostra MQ1, apresentou um aumento significativo. Comparado ao mel tratado termicamente, a maioria das amostras (MQ1, MQ2 e MMA), mostraram um aumento significativo do poder redutor de FRAP.

Quanto ao armazenamento de 365 dias a 4 °C, o mel de *M. bicolor* (MB) não apresentou diferença significativa da capacidade antioxidante, avaliada pelos três métodos (FC, DPPH e FRAP), quando comparado ao mel fresco. Essa tendência também foi verificada após armazenamento de 90 dias a 40 °C, nos três métodos (FC, DPPH e FRAP) e após armazenamento a 22 °C para FRAP. Portanto, apesar do resultado promissor, não se tem evidências suficientes para afirmar que a refrigeração, dentre as demais temperaturas utilizadas, seja a melhor condição de armazenamento, garantindo a capacidade antioxidante deste mel. O uso de diferentes amostras, de amostra controle, e um armazenamento prolongado a temperatura ambiente, para fins de comparação poderão revelar maiores conclusões.

Resumidamente, os resultados do armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C, mostrados na Figura 8, indicam que apesar da redução da capacidade antioxidante após o tratamento térmico, algumas amostras apresentaram elevação ou estabilidade da sua capacidade antioxidante, considerando o estado inicial em que foram armazenadas (após tratamento térmico). O mesmo comportamento pode ser verificado na Figura 9, para as amostras de mel

de *M. mondury* (MMO) e *M. scutellaris* (MS), com alguns aumentos significativos nos valores de FC, DPPH e FRAP, e até mesmo estabilidade na capacidade antioxidante, após armazenamento a 22 e 40 °C, comparado ao início (tratadas termicamente).

Porém, avaliando os resultados das amostras MMO e MS tratadas termicamente e armazenadas a 22 e 40 °C (Figura 9), em comparação com sua amostra controle, a capacidade antioxidante foi significativamente menor, considerando os três métodos aplicados (FC, DPPH e FRAP). Esse resultado era esperado, visto que após o tratamento térmico a capacidade antioxidante já havia apresentado redução. Além disso, existe relato na literatura de que o mel de abelhas sem ferrão, sem tratamento térmico, após o armazenamento, apresentou aumento da capacidade antioxidante. Jimenez et al. (2016) avaliaram as propriedades antioxidantes (ensaio de Folin-Ciocalteu, carotenóides totais, vitamina C, ensaio do DPPH, ensaio de FRAP, conteúdo de ácido ascórbico e potencial redox) em méis de *S. mexicana*, armazenados por 2 meses a 25, 35 e 45 °C e verificaram que FC e DPPH aumentaram significativamente. O mel fresco apresentou FC de 40,1 mg equivalentes de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ e DPPH de 19,04%. Após o armazenamento a 25, 35 e 45 °C os valores de FC foram 38,5, 45,6 e 50,2 mg EAG 100 g⁻¹ e de DPPH foram 16,2, 20,8 e 22,15%, respectivamente. Nos demais parâmetros avaliados os autores não encontraram diferença.

Desta forma, pode-se supor que o aumento da capacidade antioxidante após o armazenamento, observado nos méis de abelhas sem ferrão utilizados neste estudo, ocorra independente da aplicação do tratamento térmico. Provavelmente a composição do mel seja o principal fator responsável, considerando que a capacidade antioxidante é resultado da ação conjunta dos seus constituintes (minerais, aminoácidos, peptídeos, ácidos orgânicos). Além disso, reações de degradação, como a reação de Maillard, que ocorrem naturalmente no mel durante aquecimento e armazenamento, podem contribuir para o aumento da concentração de MRPs, produtos estes com propriedades antioxidantes (TURKMEN et al., 2006; WAGNER et al., 2002). Portanto, verifica-se que o principal efeito do tratamento térmico nos méis de abelhas sem ferrão seja a redução inicial da capacidade antioxidante, que irá refletir na menor capacidade após o armazenamento, considerando méis frescos ou armazenados nas mesmas condições sem tratamento térmico. Por outro lado, o fato de a capacidade antioxidante permanecer estável ou aumentar nos méis tratados termicamente e armazenados, comparado ao início do armazenamento, pode ser um ponto positivo.

Outras conclusões só poderão ser alcançadas a partir de maiores investigações, visto que a avaliação da capacidade antioxidante após o armazenamento foi realizada somente por

Jimenez et al. (2018) em mel de *S. mexicana*, e até o momento, não há estudos que avaliem a capacidade antioxidante em méis de abelhas sem ferrão tratados termicamente e armazenadas.

5.3 PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS

Os resultados para os compostos fenólicos individuais obtidos nas amostras de méis de abelhas sem ferrão frescos, tratados termicamente e após seu armazenamento de 90 dias, a temperatura de 22 e 40 °C são mostrados nas Tabelas 11, 12 e 13. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para os méis de *M. quadrifasciata* (MQ1 e MQ2) e *M. marginata* (MMA). A Tabela 12 apresenta os dados da amostra de mel de *M. bicolor* (MB), incluindo os resultados obtidos após o armazenamento de 365 dias a 4 °C. Enquanto, a Tabela 13 apresenta os dados para as amostras de mel de *M. mondury* (MMO) e *M. scutellaris* (MS), incluindo suas amostras controle (sem tratamento térmico), armazenadas nas mesmas condições.

De um total de 47 compostos fenólicos analisados, foi possível identificar 21 compostos nas amostras (independentemente de sua condição - fresco, tratado termicamente e após armazenamento). Além disso, alguns compostos foram identificados somente em uma ou duas amostras: *p*-aminobenzóico (MQ1), ácido clorogênico (MQ1 e MB), ácido vanílico (MMO), kaempferol (MQ2 e MMO), taxifolina (MB), ácido siríngico e sinápico (MQ2 e MMA), e crisina e carnosol (MB).

Em geral foi verificado que a concentração total de compostos fenólicos, nos méis avaliados, diminuiu após tratamento térmico e armazenamento de 90 dias a 22 e 40 °C (Tabelas 11, 12 e 13). A concentração dos compostos fenólicos só foi similar ao mel fresco após o armazenamento de 365 dias a 4 °C, no mel de *M. bicolor* (MB) (Tabela 12), apesar de ter sido observada uma redução após tratamento térmico. Além disso, seis compostos que não estavam presentes nos méis frescos (*p*-hidroximetilbenzóico, gálico, protocatecuico, quercetina, vanilina e kaempferol) foram identificados e quantificados após tratamento térmico e/ou armazenamento. Outros compostos, como ferúlico (amostra MQ1) e naringenina (amostra MQ2 e MMO), quando comparados à concentração obtida no mel fresco, tiveram seu conteúdo aumentado após tratamento térmico e armazenamento a 22 °C. Assim como outros compostos que foram inicialmente só identificados no mel fresco (valores <LOQ), tiveram seus teores quantificados após aquecimento e/ou armazenamento, sugerindo um aumento da concentração: *p*-cumarico (MS); salicílico (MQ2, MMA, MB e MS); ferúlico (MB); protocatecuico (MMO); clorogênico (MQ1 e MB); siríngico (MQ2); naringenina (MMA, MB e MS); hispidulina (MQ1, MQ2 e MS); e taxifolina (MB).

Tabela 10 - Compostos fenólicos ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) das amostras de mel de *Melipona quadrifasciata* (MQ1 e MQ2) e *Melipona marginata* (MMA) frescos, tratados termicamente ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) e após armazenamento de 90 dias as temperaturas de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ e $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Compostos fenólicos	Início do armazenamento		Após 90 dias de armazenamento	
	Fresco	TT	$22 \text{ }^\circ\text{C}$	$40 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>MQ1 (Melipona quadrifasciata)</i>				
Ácido <i>p</i> -cumárico	$7,4 \pm 0,8^a$	$1,5 \pm 0,1^b$	$0,6 \pm 0,1^d$	$0,9 \pm 0,1^c$
Ácido salicílico	$5,5 \pm 0,9^a$	$2,7 \pm 0,2^b$	$1,5 \pm 0,5^c$	$1,7 \pm 0,2^c$
Ácido ferúlico	$13,3 \pm 2,5^b$	$30,2 \pm 3,8^a$	$31,7 \pm 0,1^a$	$7,5 \pm 0,8^c$
Ácido <i>p</i> -hidroximetilbenzoico	-	$36,0 \pm 2,8^a$	$12,7 \pm 3,1^b$	$10,9 \pm 0,4^b$
Ácido gálico	-	$3,1 \pm 0,2^a$	$2,6 \pm 0,9^{ab}$	$1,6 \pm 0,5^b$
Ácido protocatecuico	-	$5,5 \pm 0,2^c$	$10,1 \pm 0,8^b$	$23,7 \pm 2,0^a$
Ácido <i>p</i> -aminobenzoico	$113,7 \pm 1,7^a$	$21,7 \pm 2,5^b$	< LOQ	$9,3 \pm 1,3^c$
Ácido clorogênico	< LOQ	< LOQ	$2,2 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
Naringenina	< LOQ	$1,3 \pm 0,2$	< LOQ	< LOQ
Apigenina	$7,1 \pm 0,9^a$	$0,4 \pm 0,1^b$	< LOQ	$0,1 \pm 0,1^b$
Hispidulina	< LOQ	$2,7 \pm 0,3^a$	$0,9 \pm 0,1^b$	$0,4 \pm 0,1^b$
Quercetina	-	$4,6 \pm 0,1^a$	$4,1 \pm 0,7^a$	$2,7 \pm 0,6^b$
Eriodictiol	$6,9 \pm 0,6^a$	$0,9 \pm 0,1^b$	< LOQ	< LOQ
Vanilina	-	-	$15,2 \pm 0,5^a$	$13,3 \pm 0,2^a$
Soma dos CF quantificados	154,1	110,6	81,7	73,3
<i>MQ2 (Melipona quadrifasciata)</i>				
Ácido <i>p</i> -cumárico	$29,5 \pm 1,8^a$	$6,3 \pm 0,2^b$	$2,4 \pm 0,7^c$	$1,7 \pm 0,4^c$
Ácido salicílico	< LOQ	$3,5 \pm 0,5^a$	$2,3 \pm 0,5^a$	$0,5 \pm 0,1^b$
Ácido ferúlico	$35,3 \pm 1,7^a$	$15,7 \pm 2,1^b$	$5,8 \pm 0,4^c$	$4,9 \pm 1,0^c$
Ácido <i>p</i> -hidroximetilbenzoico	-	$52,3 \pm 2,9^a$	$23,2 \pm 0,6^b$	$15,7 \pm 1,3^c$
Ácido gálico	$110,4 \pm 3,7^a$	$21,0 \pm 2,4^b$	$20,0 \pm 3,1^b$	$16,5 \pm 1,6^b$
Ácido siríngico	< LOQ	< LOQ	$24,1 \pm 3,5^a$	$22,3 \pm 2,6^a$
Ácido sinápico	$37,9 \pm 1,5$	-	-	-
Naringenina	$3,3 \pm 0,2^b$	$8,1 \pm 0,9^a$	$6,2 \pm 0,6^a$	$1,9 \pm 0,1^b$
Apigenina	$7,7 \pm 0,4^a$	$1,1 \pm 0,2^b$	$0,9 \pm 0,1^b$	$0,8 \pm 0,1^b$
Hispidulina	< LOQ	$1,2 \pm 0,2^a$	< LOQ	$0,2 \pm 0,1^b$
Quercetina	$18,2 \pm 1,8^a$	$12,7 \pm 1,2^a$	$4,0 \pm 1,1^b$	$2,3 \pm 0,2^b$
Kaempferol	-	$8,3 \pm 0,6^a$	$10,3 \pm 1,8^a$	$9,0 \pm 1,0^a$
Soma dos CF quantificados	241,9	130,2	98,9	75,9
<i>MMA (Melipona marginata)</i>				
Ácido <i>p</i> -cumárico	$34,1 \pm 2,5^a$	$3,0 \pm 0,3^b$	$2,3 \pm 0,7^b$	$2,2 \pm 0,1^b$
Ácido salicílico	< LOQ	$1,3 \pm 0,1^a$	$1,3 \pm 0,8^a$	$1,8 \pm 1,0^a$
Ácido ferúlico	$24,0 \pm 2,0^a$	$16,0 \pm 1,9^a$	$2,0 \pm 1,1^b$	$2,9 \pm 0,2^b$
Ácido <i>p</i> -hidroximetilbenzoico	-	$6,3 \pm 0,2^a$	$1,0 \pm 0,1^b$	$3,9 \pm 1,5^a$
Ácido gálico	$44,2 \pm 6,8^a$	$11,2 \pm 1,4^b$	$9,6 \pm 0,3^b$	$3,4 \pm 0,5^c$
Ácido siríngico	$32,9 \pm 2,4$	-	-	-
Ácido sinápico	$24,3 \pm 0,2$	-	-	-
Naringenina	< LOQ	$10,0 \pm 0,6^a$	$4,4 \pm 0,2^b$	$2,9 \pm 0,4^b$
Apigenina	$10,2 \pm 0,7^a$	$0,7 \pm 0,1^b$	$1,3 \pm 0,6^b$	$0,2 \pm 0,1^b$
Soma dos CF quantificados	169,7	48,5	21,9	17,4

Dados expressos em média \pm desvio padrão; TT: tratado termicamente; CF: compostos fenólicos; (-): não detectado; < LOQ: menor que o limite de quantificação; os limites de quantificação são apresentados no Apêndice A. Letras iguais na mesma linha indicam que as médias não diferem significativamente ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: próprio autor

Tabela 11 - Compostos fenólicos ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) da amostra de mel de *Melipona bicolor* fresco, tratado termicamente ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) e após armazenamento de 90 dias as temperaturas de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ e $40 \text{ }^\circ\text{C}$, e após 365 dias a $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Compostos fenólicos	Início do armazenamento		Após 90 dias		Após 365 dias
	Fresco	TT	$22 \text{ }^\circ\text{C}$	$40 \text{ }^\circ\text{C}$	$4 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>MB (Melipona bicolor)</i>					
Ácido <i>p</i> -cumárico	$10,8 \pm 0,1^a$	$13,1 \pm 0,2^a$	$5,7 \pm 0,3^b$	$3,4 \pm 0,4^b$	$9,2 \pm 0,3^a$
Ácido salicílico	< LOQ	$3,8 \pm 0,7^b$	$0,3 \pm 0,1^c$	$4,3 \pm 2,1^b$	$10,5 \pm 0,6^a$
Ácido ferúlico	< LOQ	$6,3 \pm 0,6^a$	$1,8 \pm 0,9^b$	$0,9 \pm 0,1^b$	$7,3 \pm 0,6^a$
Ácido <i>p</i> -hidroximetilbenzoico	-	-	$24,2 \pm 1,0^a$	$12,7 \pm 0,3^b$	-
Ácido gálico	-	-	$4,8 \pm 0,5^a$	$3,8 \pm 0,2^a$	-
Ácido protocatecuico	$12,2 \pm 0,7^a$	$1,8 \pm 0,3^c$	$5,8 \pm 0,3^b$	$14,9 \pm 2,2^a$	$9,2 \pm 0,1^a$
Ácido clorogênico	< LOQ	$10,1 \pm 1,8^a$	$2,6 \pm 0,2^b$	$2,2 \pm 0,1^b$	$14,8 \pm 3,9^a$
Naringenina	< LOQ	< LOQ	$1,7 \pm 0,2^a$	$1,5 \pm 0,3^a$	$2,9 \pm 0,7^a$
Apigenina	$3,2 \pm 0,7^a$	$3,4 \pm 0,5^a$	< LOQ	< LOQ	$3,2 \pm 0,9^a$
Hispidulina	$35,5 \pm 0,7^a$	$1,9 \pm 0,1^c$	< LOQ	< LOQ	$24,2 \pm 1,0^b$
Taxifolina	< LOQ	$7,6 \pm 0,8^a$	< LOQ	< LOQ	$12,4 \pm 1,0^a$
Crisina	$23,1 \pm 1,5^a$	$10,5 \pm 0,3^b$	-	-	$8,4 \pm 0,4^b$
Carnosol	$32,6 \pm 3,2^a$	$13,1 \pm 0,4^b$	-	-	$12,5 \pm 0,8^b$
Soma dos CF quantificados	117,4	71,6	46,9	43,8	114,6

Dados expressos em média \pm desvio padrão; TT: tratado termicamente; CF: compostos fenólicos; (-): não detectado; < LOQ: menor que o limite de quantificação; os limites de quantificação são apresentados no Apêndice A. Letras iguais na mesma linha indicam que as médias não diferem significativamente ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte próprio autor.

Tabela 12 - Compostos fenólicos ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) das amostras de mel de *Melipona mondury* (MMO) e *Melipona scutellaris* (MS) frescos, tratado termicamente (90 °C) e após armazenamento de 90 dias as temperaturas de 22 e 40 °C, incluindo o armazenamento da amostra controle (sem tratamento térmico).

Compostos fenólicos	Início do armazenamento		Após 90 dias de armazenamento			
	Fresco	TT	22 °C		40 °C	
			Controle	TT	Controle	TT
	<i>MMO (Melipona mondury)</i>					
Ácido <i>p</i> -cumárico	65,2 ± 0,3 ^a	8,7 ± 0,3 ^c	16,2 ± 5,2 ^b	6,9 ± 0,5 ^c	1,4 ± 0,6 ^e	4,3 ± 0,2 ^d
Ácido salicílico	< LOQ	1,3 ± 0,1 ^a	1,1 ± 0,3 ^b	1,4 ± 0,1 ^a	1,7 ± 0,6 ^a	0,5 ± 0,1 ^c
Ácido ferúlico	8,0 ± 1,6 ^a	9,9 ± 1,0 ^a	2,9 ± 0,9 ^b	3,4 ± 0,2 ^b	0,9 ± 0,9 ^b	2,5 ± 0,1 ^b
Ácido <i>p</i> -hidroximetilbenzoico	-	24,9 ± 3,2 ^a	11,1 ± 0,1 ^c	9,0 ± 1,0 ^c	9,0 ± 1,2 ^c	14,3 ± 2,2 ^b
Ácido gálico	112,9 ± 2,3 ^a	32,2 ± 3,2 ^b	17,9 ± 1,7 ^c	24,1 ± 3,4 ^b	15,4 ± 0,1 ^c	24,9 ± 2,7 ^b
Ácido protocatecuico	< LOQ	5,2 ± 0,8 ^c	16,4 ± 1,2 ^a	8,8 ± 1,4 ^b	13,1 ± 0,4 ^a	10,5 ± 4,2 ^b
Ácido vanílico	19,6 ± 2,6 ^a	7,3 ± 0,9 ^b	2,2 ± 0,1 ^d	3,9 ± 0,6 ^c	7,9 ± 0,1 ^b	3,8 ± 0,8 ^c
Naringenina	4,4 ± 0,2 ^b	10,7 ± 1,0 ^a	4,4 ± 1,3 ^b	5,6 ± 1,4 ^b	0,7 ± 0,1 ^c	1,0 ± 0,1 ^c
Apigenina	12,4 ± 0,9 ^a	0,8 ± 0,1 ^b	0,4 ± 0,1 ^c	0,9 ± 0,1 ^b	0,3 ± 0,1 ^c	0,8 ± 0,1 ^b
Hispidulina	-	0,9 ± 0,1 ^a	0,1 ± 0,1 ^c	0,3 ± 0,1 ^b	0,1 ± 0,1 ^c	0,7 ± 0,3 ^a
Quercetina	12,5 ± 3,0 ^a	5,7 ± 0,1 ^b	-	2,6 ± 0,2 ^c	-	2,2 ± 0,1 ^c
Eriodictiol	6,8 ± 0,2 ^a	0,8 ± 0,1 ^b	< LOQ	< LOQ	0,4 ± 0,1 ^b	< LOQ
Kaempferol	-	25,9 ± 2,9 ^a	< LOQ	20,7 ± 0,6 ^a	3,0 ± 2,1 ^b	22,0 ± 2,1 ^a
Vanilina	-	-	1,1 ± 0,5 ^c	3,6 ± 0,8 ^b	1,5 ± 0,2 ^c	6,7 ± 1,1 ^a
Soma dos compostos fenólicos quantificados	241,9	134,3	73,9	91,2	55,3	94,2
	<i>MS (Melipona scutellaris)</i>					
Ácido <i>p</i> -cumárico	< LOQ	0,5 ± 0,1 ^b	< LOQ	1,5 ± 0,1 ^a	< LOQ	0,6 ± 0,2 ^b
Ácido salicílico	< LOQ	2,4 ± 0,3 ^a	0,4 ± 0,1 ^c	0,5 ± 0,1 ^{b,c}	0,6 ± 0,1 ^b	0,6 ± 0,2 ^b
Naringenina	< LOQ	7,1 ± 0,7 ^a	< LOQ	2,4 ± 0,2 ^b	0,6 ± 0,1 ^c	0,9 ± 0,1 ^c
Apigenina	7,0 ± 0,5 ^a	0,7 ± 0,1 ^b	< LOQ	< LOQ	0,4 ± 0,1 ^b	0,3 ± 0,1 ^b
Hispidulina	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Vanilina	-	6,8 ± 0,8 ^a	-	5,6 ± 0,1 ^a	-	3,5 ± 1,0 ^b
Soma dos compostos fenólicos quantificados	7,0	17,5	0,4	10,0	1,6	5,9

Dados expressos em média ± desvio padrão; TT: tratado termicamente; (-): não detectado; < LOQ: menor que o limite de quantificação; os limites de quantificação são apresentados no Apêndice

A. Letras iguais na mesma linha indicam que as médias não diferem significativamente ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: próprio autor.

Até o momento, não há estudos que avaliem o perfil de compostos fenólicos após o armazenamento, tanto em méis de abelhas sem ferrão processados quanto não processados. O único estudo neste sentido, avaliou o efeito do tratamento térmico em méis frescos de *M. bicolor* (BRAGHINI et al., 2019). Os autores revelaram que após a aplicação de 90-95 °C/15-60 s houve um aumento na concentração de alguns compostos fenólicos, tais como ácido *p*-cumárico, ácido ferúlico, ácido clorogênico, ácido protocatecuico, aromadendrina e taxifolina. No presente estudo, após tratamento térmico, também houve aumento de ácido ferúlico na amostra MQ1 e MMO, naringenina em MQ2 e MMO e ácido *p*-cumárico em MMO. Porém, é importante destacar que os estudos ainda são escassos, e os dados apresentados tem caráter exploratório. Possivelmente a composição química de cada amostra interfira de maneira específica nas concentrações destes compostos após aquecimento. Por isso, a necessidade da continuidade das investigações com a utilização de maior variabilidade de amostras e diferentes condições de processamento/armazenamento.

Por outro lado, as reduções da concentração total de compostos fenólicos ocorridas, tanto após tratamento térmico, quanto após armazenamento em ambas temperaturas (22 e 40 °C), podem ser explicadas pela degradação dos compostos fenólicos. Inclusive pode-se verificar uma perda mais acentuada a 40 °C. Isto ocorre naturalmente durante processamento e armazenamento do mel, e é influenciada por diversos fatores (temperatura, luz, oxigênio, pH e composição da amostra) (DA SILVA et al., 2016) Desta forma, considerando que os fatores extrínsecos estavam controlados, sugere-se que a composição química de cada amostra tenha maior relevância na influência dos resultados. Em contrapartida, o aparecimento de novos compostos fenólicos e o aumento da concentração de outros, pode ser resultado de reações específicas de hidrólise glicosídica ou hidrólise de outros compostos presentes no mel, como polissacarídeos e aminoácidos, que ocorrem após aquecimento ou armazenamento (BRAGHINI et al., 2019).

Ainda, analisando os dados presentes na Tabela 13, é possível perceber que as amostras MMO e MS tratadas termicamente e armazenadas a 22 e 40 °C também apresentaram uma redução na concentração total de compostos fenólicos, comparado ao início do armazenamento. Porém, comparando às amostras controle (sem tratamento térmico) armazenadas sob as mesmas condições, elas apresentaram maior concentração total. Este fato sugere que o tratamento térmico aplicado possa ter sido responsável por esse comportamento. Em amostras de mel, armazenados sem tratamento térmico, dentre as diversas reações que levam a redução do teor de compostos fenólicos, como hidrólise, oxidação e complexação, a interação entre compostos fenólicos e MRPs também pode ser citada (SERAGLIO et al., 2021). Considerando que o

tratamento térmico aplicado tenha contribuído na desaceleração da reação de Maillard, devido a estabilização da acidez livre visualizada nos méis de abelhas sem ferrão estudados, o que refletiu na menor formação de 5-HMF após armazenamento, também pode ter contribuído para uma menor formação de MRPs no mel tratado termicamente e armazenado. Portanto, a interação citada anteriormente entre compostos fenólicos e MRPs pode ter ocorrido em maior proporção nos méis sem tratamento térmico, o que acarretou na redução mais acentuada nesses méis, comparado aos tratados termicamente.

Outro fato interessante, observado por meio da Tabela 13, é o aparecimento e aumento na concentração de compostos fenólicos também nas amostras controle de mel de *M. scutellaris* (MS) armazenadas a 22 e 40 °C, como ácido p-hidroximetilbenzóico, hispidulina, kaempferol e vanilina. Ou seja, é possível que alguns compostos fenólicos estejam inicialmente nas amostras frescas, mas somente durante o armazenamento, após reações específicas, este fenômeno aconteça, independentemente da aplicação prévia do tratamento térmico.

Contudo, reitera-se a necessidade de maiores investigações para auxiliar na elucidação de tais questões, as quais explorem outros méis de abelhas sem ferrão, tendo em vista que a composição fenólica é dependente de fatores intrínsecos e extrínsecos e também das diferentes condições de armazenamento e processamento.

6 CONCLUSÃO

Considerando que os méis de abelhas sem ferrão necessitam de técnicas de conservação para estender sua vida de prateleira, e ao mesmo tempo preservar suas características físico-químicas e potencial bioativo, o tratamento térmico utilizado neste estudo apresentou-se como uma alternativa viável.

O teor de umidade e nível de acidez livre, mantiveram-se inalterados, na maioria dos méis estudados, após o armazenamento de 90 dias a 22 °C. O teor de 5-HMF também não foi detectado nos méis após tratamento térmico e armazenamento. Além disso, pode-se sugerir que o uso do tratamento térmico seja capaz de retardar o processo de fermentação, que ocorre naturalmente no mel pelos micro-organismos presentes. Isto porque, os méis tratados termicamente apresentaram níveis de acidez livre menores àqueles não tratados e armazenados nas mesmas condições (controle).

A capacidade antioxidante de méis frescos foi afetada pelo tratamento térmico aplicado, ocorrendo na maioria dos méis estudados a sua redução. No entanto, após o armazenamento dos méis tratados termicamente, independente da condição (90 dias a 22 e 40 °C e 365 dias a 4 °C), também puderam ser observadas elevações e estabilização da capacidade antioxidante, considerando o mel no início do armazenamento (após tratamento térmico).

Percebeu-se ainda o surgimento de novos compostos fenólicos após o tratamento térmico e armazenamento, inclusive nas amostras controle (sem tratamento térmico). Isto denota que independente do tratamento térmico, o armazenamento foi capaz de gerar novos compostos fenólicos e outros compostos responsáveis pela capacidade antioxidante, como os MRPs. Porém, a maior concentração total de compostos fenólicos visualizada nos méis tratados termicamente e armazenados, comparado aos méis armazenados sem tratamento, denota a possibilidade da influência do tratamento térmico nesta potencialização, considerando seu efeito na composição do mel e nas reações químicas que podem ocorrer durante armazenamento.

Ainda, nas amostras avaliadas neste estudo, o armazenamento a 40 °C acarretou no aumento de 5-HMF e redução mais acentuada da concentração total de compostos fenólicos, tanto em méis tratados termicamente quanto não tratados. Desta forma, pode-se sugerir que o armazenamento em temperaturas elevadas seja evitado. Em contrapartida, após o armazenamento a 4 °C por período prolongado, assim como já é realizado pelos consumidores, não houve detecção de 5-HMF e a concentração total de compostos fenólicos não foi alterada.

Desta forma, esta pode ser uma alternativa eficaz, para auxiliar na conservação da qualidade dos méis, mesmo quando aplicado o tratamento térmico previamente.

Em suma, os resultados obtidos servirão de suporte para a continuidade dos estudos, considerando a necessidade de investigação com uma maior variabilidade de amostras, de diferentes espécies de abelhas sem ferrão. Além de estudos com a ampliação do tempo de armazenamento dos méis, uso de diferentes temperaturas, investigação de novas técnicas de conservação e o aprofundamento acerca dos efeitos do tratamento térmico a outros componentes químicos do mel.

Somente com a elucidação dos reais efeitos do processamento do mel de abelhas sem ferrão, é que se conseguirá contribuir para a manutenção e possível expansão da cadeia produtiva destes méis. E assim, impulsionar a sua comercialização, gerando renda de forma sustentável aos meliponicultores, sem que haja prejuízos às características do produto.

REFERÊNCIAS

- ADAB. Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia. Portaria ADAB nº 207 de 21 de novembro de 2014. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel de Abelha social sem ferrão, gênero Melipona**. Diário Oficial do Estado, Bahia, 26 de novembro de 2014.
- ADAF. Agência de Defesa Agropecuária e Florestal do Estado do Amazonas. Portaria ADAF nº 253 de 31 de outubro de 2016. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel de Abelha Social Sem Ferrão**. Diário Oficial do Estado, Amazonas, 01 de novembro de 2016.
- ADAPAR. Agência de Defesa Agropecuária do Paraná. Portaria nº 63 de 10 de março de 2017. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel de Abelhas Sem Ferrão para o Estado do Paraná**. Diário Oficial do Estado, Paraná, 10 de março de 2017.
- ADNAN, N. A.; CHUA, L. S.; SARMIDI, M. R. Thermal Treatment Effect on Free Amino Acids in Honey Samples. **Jurnal Teknologi**, v. 69, n. 4, p.29-33, 2014.
- AL-GHAMDI, A.; MOHAMMED, S. E. A.; ANSARI, M. J.; ADGABA, N. Comparison of physicochemical properties and effects of heating regimes on stored *Apis mellifera* and *Apis florea* honey. **Saudi journal of biological sciences**, v. 26, n. 4, p. 845-848, 2019.
- ALISSANDRAKIS, E. TARANTILIS, P. A.; HARIZANIS, P. C.; POLISSIOU, M. Aroma investigation of unifloral Greek citrus honey using solid-phase microextraction coupled to gas chromatographic–mass spectrometric analysis. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 396-404, 2007.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B. de; MATSUDA, A. H.; BASTOS, D. H. M. Physicochemical parameters of amazon Melipona honey. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 707-708, 2007.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; STRAMM, K. M.; HORITA, A.; BARTH, O. M.; DA SILVA DE FREITAS A.; ESTEVINHO, L. M. Comparative study of the physicochemical and palynological characteristics of honey from *Melipona subnitida* and *Apis mellifera*. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 8, p. 1698-1706, 2013.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; STRAMM, K. M.; ESTEVINHO, L. M. Efficiency of the FT-IR ATR spectrometry for the prediction of the physicochemical characteristics of *Melipona subnitida* honey and study of the temperature's effect on those properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 1, p. 188-195, 2014.
- ALQARNI, A. S.; OWAYSS, A. A.; MAHMOUD, A. A.; HANNAN, M. A. Mineral content and physical properties of local and imported honeys in Saudi Arabia. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 18, n. 5, p. 618-625, 2014.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GIAMPIERI, F.; BRENCIANI, A.; MAZZONI, L., GASPARRINI, M., GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C.; MORRONI,

G.; SIMONI, S.; FORBES-HERNÁNDEZ, T. Y.; AFRIN, S.; GIOVANETTI, E; BATTINO, M. *Apis mellifera* vs *Melipona beecheii* Cuban polyfloral honeys: A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. **LWT**, v. 87, p. 272-279, 2018.

ALVES, R. M. de O.; CARVALHO, C. A. L. D.; SOUZA, B. D. A.; SODRÉ, G. D. S.; MARCHINI, L. C. Características físico-químicas de amostras de mel de *Melipona mandacaia* Smith (Hymenoptera: Apidae). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 644-650, 2005.

ANACLETO, D. A.; SOUZA, B. D. A.; MARCHINI, L. C.; MORETI, A. C. D. C. C.. Composição de amostras de mel de abelha Jataí (*Tetragonisca angustula* Latreille, 1811). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, 2009.

ANET, E. F. L. J. Degradation of carbohydrates. II. The action of acid and alkali on 3-deoxyhexosones. **Australian Journal of Chemistry**, v. 14, n. 2, p. 295-301, 1961.

ANET, E. F. L. J. Degradation of carbohydrates. V. Isolation of intermediates in the formation of 5-(Hydroxymethyl)-2-furaldehyde. **Australian Journal of Chemistry**, v. 18, n. 2, p. 240-248, 1965.

AOAC. **Official Methods of Analysis**. In: W. HORWITZ (Ed) (18.ed.). Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, Inc., 2005.

ARAÚJO, J. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 601p.

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

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

BAKAR, M. F. A.; SANUSI, S. B.; ABU BAKAR, F. I.; ONG, J. C.; MIAN, Z. Physicochemical and antioxidant potential of raw unprocessed honey from Malaysian stingless bees. **Pakistan Journal of Nutrition**, v.16, n. 11, p. 888-894, 2017.

BARBOSA, J. H. P.; SOUZA, I. T.; SANTANA, A. E.; GOULART, M. O. A determinação dos produtos avançados de glicação (ages) e de lipoxidação (ales) em alimentos e em sistemas biológicos: avanços, desafios e perspectivas. **Química Nova**, v. 39, n. 5, p. 608-620, 2016

BARLIANTO, H.; MAIER, H. G. Acids in chicory roots and malt. II. Determination of acids derived from carbohydrates. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung**, v. 201, n. 4, p. 375-377, 1995.

- BASTOS, D. H. M.; DOS SANTOS, M.C.M.; MENDONÇA, S.; TORRES, E.A.F.S. Antioxidant capacity and phenolic content of stingless bee honey from amazon in comparison to Apis bee honey. **Acta Horticulturae**, v. 841, p. 483-486, 2009.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of Antioxidant Power: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.
- BERTONCELJ, J. et al. Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. **Food Chemistry**, v. 105, n. 2, p. 822-828, 2007.
- BILUCA, F. C.; DELLA BETTA, F.; DE OLIVEIRA, G. P.; PEREIRA, L. M.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. 5-HMF and carbohydrates content in stingless bee honey by CE before and after thermal treatment. **Food Chemistry**, v. 159, p. 244-249, 2014.
- BILUCA, F. C.; BERNAL, J.; VALVERDE, S.; ARES, A. M.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Determination of Free Amino Acids in Stingless Bee (Meliponinae) Honey. **Food Analytical Methods**, v. 12, n. 4, p. 902-907, 2019.
- BILUCA, F. C.; DA SILVA, B.; CAON, T.; MOHR, E. T. B.; VIEIRA, G. N.; GONZAGA, L. V.; VITALI, L.; MICKE, G.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Investigation of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activities in stingless bee honey (Meliponinae). **Food Research International**, v. 129, p. 108756, 2020.
- BILUCA, F. C.; DE GOIS, J. S.; SCHULZ, M.; BRAGHINI, F.; GONZAGA, L. V.; MALTEZ, H. F.; RODRIGUES, E.; MICKE, G. A.; BORGES, D. L. G.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (Meliponinae). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 63, p. 89-97, 2017.
- BILUCA, F. C.; BRAGHINI, F.; GONZAGA, L. V.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Physicochemical profiles, minerals and bioactive compounds of stingless bee honey (Meliponinae). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 50, p. 61-69, 2016.
- BIOINSETOS, disponível em <https://bioinsetos.com/2019/02/25/abelhas-precursoras-da-vida/> Acesso em 10 de março 2020.
- BOGDANOV, S.; VIT, P.; KILCHENMANN, V. Sugar profiles and conductivity of stingless bee honeys from Venezuela. **Apidologie**, v. 27, n. 6, p. 445-450, 1996.
- BOUSETA, A.; COLLIN, S.; DUFOUR, J.-P. Characteristic aroma profiles of unifloral honeys obtained with a dynamic headspace GC-MS system. **Journal of Apicultural Research**, v. 31, n. 2, p. 96-109, 1992.
- BOUSETA, A.; SCHEIRMAN, V.; COLLIN, S. Flavor and free amino acid composition of lavender and eucalyptus honeys. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 4, p. 683-687, 1996.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRAGHINI, F.; BILUCA, F. C.; GONZAGA, L. V.; VITALI, L.; COSTA, A. C.; FETT, R. Effect thermal processing in the honey of *Tetragonisca angustula*: profile physicochemical, individual phenolic compounds and antioxidant capacity. **Journal of Apicultural Research**, p. 1-7, 2020.

BRAGHINI, F.; BILUCA, F. C.; GONZAGA, L. V.; KRACIK, A. S.; VIEIRA, C. R.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Impact of short-term thermal treatment on stingless bee honey (Meliponinae): Quality, phenolic compounds and antioxidant capacity. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 7, p. e13954, 2019.

BRAND-WILLIAMNS, W.; CUVERLIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel**. MAPA, Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 6, de 25 de julho de 1985. **Normas higiênico-sanitárias e tecnológicas para o mel, cera de abelhas e derivados**. MAPA, Brasília, 1985.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional De Vigilância Sanitária. RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013. **Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos**. Brasília: Diário Oficial da União, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio-Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 346 de 16 de agosto de 2004. **Utilização de abelhas silvestres e implementação de meliponários**. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de agosto de 2004.

CAMBRONERO-HEINRICHS, J. C.; MATARRITA-CARRANZA, B.; MURILLO-CRUZ, C.; ARAYA-VALVERDE, E.; CHAVARRÍA, M.; PINTO-TOMÁS, A. A. Phylogenetic analyses of antibiotic-producing *Streptomyces* sp. isolates obtained from the stingless-bee *Tetragonisca angustula* (Apidae: Meliponini). **Microbiology**, v. 165, n. 3, p. 292-301, 2019.

CARVALHO-ZILSE, G. A.; VILAS-BOAS, H. C.; DA COSTA, K. B.; NUNES-SILVA, C. G.; DE SOUZA, M. T; FERNANDES, R. S. **Meliponicultura na Amazônia**. Manaus: [s.n.], 2012. 50p.

CASTRO-VÁZQUEZ, L.; LEON-RUIZ, V.; ALAÑON, M. E.; PÉREZ-COELLO, M. S.; GONZÁLEZ-PORTO, A. V. Floral origin markers for authenticating Lavandin honey (*Lavandula angustifolia* x *latifolia*). Discrimination from Lavender honey (*Lavandula latifolia*). **Food Control**, v. 37, p. 362-370, 2014.

CASTRO-VÁZQUEZ, L.; DÍAZ-MAROTO, M. C.; GONZÁLEZ-VIÑAS, M. A.; DE LA FUENTE, E.; PÉREZ-COELLO, M. S. Influence of storage conditions on chemical composition and sensory properties of citrus honey. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 6, p. 1999-2006, 2008.

CAVIA, M. M.; FERNÁNDEZ-MUINO, M. A.; ALONSO-TORRE, S. R.; HUIDOBRO, J. F.; SANCHO, M. T. Evolution of acidity of honeys from continental climates: Influence of induced granulation. **Food Chemistry**, v. 100, n. 4, p. 1728-1733, 2007.

CELLA, I.; AMANDIO, D. T. T.; FAITA, M. R. **Meliponicultura**. Boletim didático. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), n. 141, 2017. 60p.

CHAIKHAM, P.; KEMSAWASD, V.; APICHARTSRANGKOON, A. Effects of conventional and ultrasound treatments on physicochemical properties and antioxidant capacity of floral honeys from Northern Thailand. **Food Bioscience**, v. 15, p. 19-26, 2016.

CHAIKHAM, P.; PRANGTHIP, P. Alteration of antioxidative properties of longan flower-honey after high pressure, ultra-sonic and thermal processing. **Food Bioscience**, v. 10, p. 1-7, 2015.

CHANCHAO, C. Antimicrobial activity by *Trigona laeviceps* (stingless bee) honey from Thailand. **Pakistan Journal of Medical Sciences**, v. 25, n. 3, p. 364-9, 2009.

CHEYNIER, V.; TOMAS-BARBERAN, F. A.; YOSHIDA, K. Polyphenols: from plants to a variety of food and nonfood uses. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 35, p.7589-7594, 2015.

CHONG, K. Y.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Thermosonication and optimization of stingless bee honey processing. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 7, p. 608-622, 2017.

CHUA, L. S.; ADNAN, N. A.; ABDUL-RAHAMAN, N. L.; SARMIDI, M. R. Effect of thermal treatment on the biochemical composition of tropical honey samples. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 2, p.773-778, 2014.

CHUTTONG, B.; CHANBANG, Y.; SRINGARM, K.; BURGETT, M. Effects of long term storage on stingless bee (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) honey. **Journal of Apicultural Research**, v. 54, n. 5, p. 441-451, 2015.

CHUTTONG, B.; CHANBANG, Y.; SRINGARM, K.; BURGETT, M. Physicochemical profiles of stingless bee (Apidae: Meliponini) honey from South East Asia (Thailand). **Food Chemistry**, v. 192, p. 149-155, 2016.

CODEX STAN 12. Codex Alimentarius Commission. Codex Standard for Honey, n. 12, v. 11, rev. 2, p. 1-8, 2001.

DA COSTA, A. C. V.; SOUSA, J. M. B.; BEZERRA, T. K. A.; DA SILVA, F. L. H.; PASTORE, G. M.; DA SILVA, M. A. A. P.; MADRUGA, M. S. Volatile profile of monofloral honeys produced in Brazilian semiarid region by stingless bees and key volatile compounds. **LWT**, v. 94, p. 198-207, 2018a.

DA COSTA, A. C. V.; SOUSA, J. M. B.; DA SILVA, M. A. A. P.; DOS SANTOS GARRUTI, D.; MADRUGA, M. S. Sensory and volatile profiles of monofloral honeys

produced by native stingless bees of the Brazilian semiarid region. **Food Research International**, v. 105, p. 110-120, 2018b.

DA COSTA, A. C. V.; GARRUTI, D. S.; MADRUGA, M. S. The power of odour volatiles from unifloral melipona honey evaluated by gas chromatography–olfactometry Osme techniques. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 9, p. 4493-4497, 2019.

DA CUNHA, M. G.; ROSALEN, P. L.; FRANCHIN, M.; DE ALENCAR, S. M.; IKEGAKI, M.; RANSOM, T.; BEUTLER, J. A. Antiproliferative constituents of geopropolis from the bee *Melipona scutellaris*. **Planta Medica**, v. 82, n. 03, p. 190-194, 2016.

DA SILVA, I. A. A.; DA SILVA, T. M. S.; CAMARA, C. A.; QUEIROZ, N.; MAGNANI, M.; DE NOVAIS, J. S.; SOLEDADE, L. E. B.; LIMA, E. O.; DE SOUZA, A. L.; DE SOUZA, A. G. Phenolic profile, antioxidant activity and palynological analysis of stingless bee honey from Amazonas, Northern Brazil. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3552-3558, 2013.

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

DA SILVA, P. M.; GONZAGA, L. V.; BILUCA, F. C.; SCHULZ, M.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Stability of Brazilian *Apis mellifera* L. honey during prolonged storage: Physicochemical parameters and bioactive compounds. **LWT**, p. 109521, 2020a.

DA SILVA, P. M.; GONZAGA, L. V.; DE AZEVEDO, M. S.; BILUCA, F. C.; SCHULZ, M.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Stability of volatile compounds of honey during prolonged storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 1167-1182, 2020b.

DA SILVA, T. M. G.; DA SILVA, P. R.; CAMARA, C. A.; DA SILVA, G. S.; FRANCISCO DE ASSIS, R.; SILVA, T. M. S. Análises químicas e potencial antioxidante do mel de Angico produzido pelas abelhas sem-ferrão jandaíra. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1370-1379, 2014.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2018.

DARDON, M. J.; ENRÍQUEZ, E. Caracterización fisicoquímica y antimicrobiana de la miel de nueve especies de abejas sin aguijón (Meliponini) de Guatemala. **Interciencia**, v. 33, n. 12, p.916-922, 2008.

DAVIDEK, T.; ROBERT, F.; DEVAUD, S.; VERA, F. A.; BLANK, I. Sugar fragmentation in the Maillard reaction cascade: formation of short-chain carboxylic acids by a new oxidative α -dicarbonyl cleavage pathway. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 18, p. 6677-6684, 2006.

DE SOUSA, J. M. B.; DE SOUZA, E. L.; MARQUES, G.; DE TOLEDO BENASSI, M.; GULLÓN, B.; PINTADO, M. M.; MAGNANI, M. Sugar profile, physicochemical and

sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 645-651, 2016.

DEL RIO, D.; RODRIGUEZ-MATEOS, A.; SPENCER, J. P.; TOGNOLINI, M.; BORGES, G.; CROZIER, A. Dietary (poly) phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 18, n. 14, p. 1818-1892, 2013.

DI BELLA, G.; TURCO, V. L.; POTORTÌ, A. G.; BUA, G. D.; FEDE, M. R.; DUGO, G. Geographical discrimination of Italian honey by multi-element analysis with a chemometric approach. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 44, p. 25-35, 2015.

DIMINS, F.; KUKA, P.; KUKA, M.; ČAKSTE, I. The criteria of honey quality and its changes during storage and thermal treatment. **Proceedings of the Latvia University of Agriculture**, v. 16, n. 311, p.73-78, 2006.

DO VALE, M. A. D.; GOMES, F. A.; CUNHA DOS SANTOS, B. R.; BATISTA FERREIRA, J. Honey quality of *Melipona* sp. bees in Acre, Brazil. **Acta Agronómica**, v. 67, n. 2, p. 201-207, 2018.

DUARTE, A. W. F.; VASCONCELOS, M. R. D. S.; DE MENEZES, A. P. D.; DA SILVA, S. C.; ODA-SOUZA, M.; LÓPEZ, A. M. Q. Composition and antioxidant activity of honey from Africanized and stingless bees in Alagoas (Brazil): a multivariate analysis. **Journal of Apicultural Research**, v. 51, n. 1, p. 23-35, 2012.

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

EL-HASKOURY, R.; KRIAA, W.; LYOUSSE, B.; MAKNI, M. *Ceratonia siliqua* honeys from Morocco: Physicochemical properties, mineral contents, and antioxidant activities. **Journal of food and drug analysis**, v. 26, n. 1, p. 67-73, 2018.

ESCRICHE, I.; KADAR, M.; JUAN-BORRÁS, M.; DOMENECH, E. Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. **Food Chemistry**, v. 142, p. 135-143, 2014.

ESCRICHE, I.; KADAR, M.; JUAN-BORRAS, M.; DOMENECH, E. Using flavonoids, phenolic compounds and headspace volatile profile for botanical authentication of lemon and orange honeys. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1504-1513, 2011.

ESCRICHE, I.; SOBRINO-GREGORIO, L.; CONCHADO, A.; JUAN-BORRÁS, M. Volatile profile in the accurate labelling of monofloral honey. The case of lavender and thyme honey. **Food Chemistry**, v. 226, p. 61-68, 2017.

EVANGELISTA-RODRIGUES, A.; SILVA, E. M.; BESERRA, E. M. F.; RODRIGUES, M. L. Análise físico-química dos méis das abelhas *Apis mellifera* e *Melipona scutellaris* produzidos em regiões distintas no Estado da Paraíba. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1166-1171, 2005.

FAGERSON, I. S. Thermal degradation of carbohydrates; a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 17, n. 4, p. 747-750, 1969.

FAUZI, N. A.; FARID, M. M.; SILVA, F. V. M. High-pressure processing of Manuka honey: Improvement of antioxidant activity, preservation of colour and flow behaviour. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 8, p. 2299-2307, 2014.

FERREIRA, B. L.; GONZAGA, L. V.; VITALI, L.; MICKE, G. A.; MALTEZ, H. F.; RESSUREIÇÃO, C.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Southern-Brazilian geopropolis: a potential source of polyphenolic compounds and assessment of mineral composition. **Food Research International**, v. 126, p. 108683, 2019.

FERRUFINO, U.; VIT, P. Pot-Honey of Six Meliponines from Amboró National Park, Bolivia. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 409-416.

FONTE, L.; DÍAZ, M.; MACHADO, R.; BLANCO, D.; DEMEDIO, J.; GARCÍA, A. Caracterización físico-química y organoléptica de miel de *Melipona beecheii* obtenida en sistemas agroforestales. **Pastos y Forrajes**, v. 36, n. 3, p. 345-349, 2013.

FRANCHINI, R. A. A.; MATOS, M. A. C.; COLOMBARA, R.; MATOS, R. C. Differential amperometric determination of hydrogen peroxide in honeys using flow-injection analysis with enzymatic reactor. **Talanta**, v. 75, p. 301-306, 2008.

FUENMAYOR, C. A.; ZULUAGA-DOMÍNGUEZ, C. M.; DÍAZ-MORENO, A. C.; QUICAZÁN, M. C. 'Miel de Angelita': nutritional composition and physicochemical properties of *Tetragonisca angustula* honey. **Interciencia**, v. 37, n. 2, p.142-147, 2012.

FUENMAYOR, C. A. Honey of Colombian stingless bees: Nutritional characteristics and physicochemical quality indicators. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 383-394.

GIBBS, P. A.; NUNEZ, H.; ALMONACID, S.; SIMPSON, R. Thermal processes: pasteurization. In: BATT, C. A.; TORTORELLO, M-L. (Ed.). **Encyclopedia of Food Microbiology**. Ed. Cambridge: Academic Press, 2014. p. 577-595.

GINZ, M.; BALZER, H. H.; BRADBURY, A. G.; MAIER, H. G. Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. **European Food Research and Technology**, v. 211, n. 6, p. 404-410, 2000.

GOMES, S.; DIAS, L. G.; MOREIRA, L. L.; RODRIGUES, P.; ESTEVINHO, L. Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 2, p. 544-548, 2010.

GONG, C. S.; CLAYPOOL, T. A.; MCCRACKEN, L. D.; MAUN, C. M.; UENG, P. P.; TSAO, G. T. Conversion of pentoses by yeasts. **Biotechnology and bioengineering**, v. 25, n. 1, p. 85-102, 1983.

- GOULD, G. W. Methods for preservation and extension of shelf life. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, n. 1, p. 51-64, 1996.
- GRANATO, D.; ALEZANDRO, M. R.; NAZZARO, F. Food bioactive compounds: Quality control and functional properties. **Food Research International**, v. 77, p. 73-74, 2015.
- GUTIÉRREZ, M. G.; ENRIQUEZ, E.; LUSCO, L.; RODRIGUEZ-MALAVAR, A.; PERSANO, O. L.; VIT, P. Caracterización de mieles de *Melipona beecheii* y *Melipona solani* de Guatemala. **Revista de la Facultad de Farmacia**, v. 50, p. 2-6, 2008.
- HASAN, S. H. Effect of storage and processing temperatures on honey quality. **J. Babylon Univ. Pure Appl. Sci**, v. 21, p. 2244-2253, 2013.
- HERMOSÍN, I.; CHICÓN, R. M.; CABEZUDO, M. D. Free amino acid composition and botanical origin of honey. **Food Chemistry**, v. 83, n. 2, p. 263-268, 2003.
- HOLANDA, C. A.; OLIVEIRA, A. R.; COSTA, M. C. P.; RIBEIRO, M. N. D. S.; SOUZA, J. L.; ARAÚJO, M. J. A. M. Quality of honey produced by *Meipona fasciculata* Smith of cerrado region from Maranhão state, Brazil. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 55-58, 2012.
- HRNCIR, M.; JARAU, S.; BARTH, F. G. Stingless bees (Meliponini): senses and behavior. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 202, p. 597-601, 2016.
- IDAF. Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. Instrução Normativa nº 001 de 17 de abril de 2019. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel de Abelha sem Ferrão**. Diário Oficial do Estado, Espírito Santo, 23 de abril 2019.
- IGLESIAS, M. T.; MARTÍN-ÁLVAREZ, P. J.; POLO, M. C.; DE LORENZO, C.; GONZÁLEZ, M.; PUEYO, E. Changes in the free amino acid contents of honeys during storage at ambient temperature. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 24, p. 9099-9104, 2006.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; GONÇALVES, L. S.; FRANCOY, T. M.; NUNES-SILVA, P. O desaparecimento das abelhas melíferas (*Apis mellifera*) e as perspectivas do uso das abelhas não melíferas na polinização, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69296/1/Abelha.pdp>>. Acesso em 12 fev. 2017.
- JAFFÉ, R.; POPE, N.; CARVALHO, A. T.; MAIA, U. M.; BLOCHTEIN, B.; DE CARVALHO, C. A. L.; CARVALHO-ZILSE, G. A.; FREITAS, B. M.; MENEZES, C.; RIBEIRO, M. F.; VENTURIERI, G. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Bees for development: Brazilian survey reveals how to optimize stingless beekeeping. **PLoS One**, v. 10, n. 3, p. 121-157 2015.
- JALIL, M. A. A.; KASMURI, A. R.; HADI, H. Stingless Bee Honey, the Natural Wound Healer: A Review. **Skin Pharmacology and Physiology**, v. 30, n. 2, p. 66-75, 2017
- JASICKA-MISIAK, I.; POLIWODA, A.; DEREN, M.; KAFARSKI, P. Phenolic compounds and abscisic acid as potential markers for the floral origin of two Polish unifloral honeys. **Food Chemistry**, v. 131, n. 4, p. 1149-1156, 2012.

JIMENEZ, M.; BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; MENDOZA, M. R.; PASCUAL, L. A. Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. **Journal of Apicultural Research**, v. 55, n. 2, p. 151-160, 2016.

JUAN-BORRÁS, M.; PERICHE, A.; DOMENECH, E.; ESCRICHE, I. Correlation between methyl anthranilate level and percentage of pollen in Spanish citrus honey. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 7, p. 1690-1696, 2015.

JUAN-BORRÁS, M.; DOMENECH, E.; HELLEBRANDOVA, M.; ESCRICHE, I. Effect of country origin on physicochemical, sugar and volatile composition of acacia, sunflower and tilia honeys. **Food Research International**, v. 60, p. 86-94, 2014.

KALAYCIOĞLU, Z.; KAYGUSUZ, H.; DÖKER, S.; KOLAYLI, S.; ERIM, F. B. Characterization of Turkish honeybee pollens by principal component analysis based on their individual organic acids, sugars, minerals, and antioxidant activities. **LWT-Food Science and Technology**, v. 84, p. 402-408, 2017.

KARABAGIAS, I. K.; LOUPPIS, A. P.; KARABOURNIOTI, S.; KONTAKOS, S.; PAPASTEPHANOU, C.; KONTOMINAS, M. G. Characterization and geographical discrimination of commercial Citrus spp. honeys produced in different Mediterranean countries based on minerals, volatile compounds and physicochemical parameters, using chemometrics. **Food Chemistry**, v. 217, p. 445-455, 2017.

KARABAGIAS, I. K.; VAVOURA, M. V.; NIKOLAOU, C.; BADEKA, A. V.; KONTAKOS, S.; KONTOMINAS, M. G. Floral authentication of Greek unifloral honeys based on the combination of phenolic compounds, physicochemical parameters and chemometrics. **Food Research International**, v. 62, p. 753-760, 2014.

KAŠKONIENĖ, V.; VENSKUTONIS, P. R.; ČEKSTERYTĖ, V. Composition of volatile compounds of honey of various floral origin and beebread collected in Lithuania. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 988-997, 2008.

KAYGUSUZ, H.; TEZCAN, F.; ERIM, F. B.; YILDIZ, O.; SAHIN, H.; CAN, Z.; KOLAYLI, S. Characterization of Anatolian honeys based on minerals, bioactive components and principal component analysis. **LWT-Food Science and Technology**, v. 68, p. 273-279, 2016.

KEK, S. P.; CHIN, N. L.; TAN, S. W.; YUSOF, Y. A.; CHUA, L. S. Classification of honey from its bee origin via chemical profiles and mineral content. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 1, p. 19-30, 2017a.

KEK, S. P.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A.; TAN, S. W.; CHUA, L. S. Classification of entomological origin of honey based on its physicochemical and antioxidant properties. **International journal of food properties**, v. 20, n. sup3, p. S2723-S2738, 2017b.

KHALIL, M. I.; SULAIMAN, S. A.; GAN, S. H. High 5-hydroxymethylfurfural concentrations are found in Malaysian honey samples stored for more than one year. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 8, p. 2388-2392, 2010.

KJELDAHL, J. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. **Z. Anal. Chem.**, v. 22, n. 1, p. 366-382, 1883.

KLEINERT, A. M. P.; RAMALHO, M.; CORTOPASSI-LAURINO, M.; RIBEIRO, M. D. F.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Abelhas sociais (Bombini, Apini, Meliponini)**. In: PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P (Ed.). *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Londrina: Embrapa Soja, 2009. 371-424p.

KONG, F.; SINGH, R. P. Chemical deterioration and physical instability of foods and beverages. In: SUBRAMANIAN, P.; WAREING, P. (Ed.). **The stability and shelf life of food**. Cambridge: Woodhead Publishing. 2011, p. 29-62.

KOSER, J. R.; BARBIÉRI, C.; FRANCOY, T. M. Legislation on meliponiculture in Brazil: social and environmental demand. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 1, p. 164-194, 2020.

KOWALSKI, S. Changes of antioxidant activity and formation of 5-hydroxymethylfurfural in honey during thermal and microwave processing. **Food Chemistry**, v. 141, p.1378–138, 2013.

KUŠ, P. M.; JERKOVIĆ, I.; TUBEROSO, C. I. G.; ŠAROLIĆ, M. The volatile profiles of a rare apple (*Malus domestica* Borkh.) honey: shikimic acid-pathway derivatives, terpenes, and others. **Chemistry & biodiversity**, v. 10, n. 9, p. 1638-1652, 2013.

LAPISIBIRUBA. Laboratório de Ensino, Pesquisa e Extensão em Apicultura e Meliponicultura - Instituto Federal do Rio Grande do Sul, campus Ibirubá. Disponível em <https://www.instagram.com/lapisibiruba/>, acesso em 18 de abr. 2021.

LAGE, L. G. A.; COELHO, L. L.; RESENDE, H. C.; TAVARES, M. G.; CAMPOS, L. A.; FERNANDES-SALOMÃO, T. M. Honey physicochemical properties of three species of the brazilian Melipona. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 605-608, 2012.

LEMONS, M. S.; VENTURIERI, G. C.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. Evaluation of the physicochemical parameters and inorganic constituents of honeys from the Amazon region. **Journal of Apicultural Research**, v. 57, n. 1, p. 135-144, 2018.

LIRA, A. F.; DE MELLO SOUSA, J. P. L.; LORENZON, M. C. A.; VIANNA, C. A. F. J.; CASTRO, R. N. Estudo comparativo do mel de *Apis mellifera* com méis de meliponíneos de diferentes regiões. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 3, p. 169-178, 2014.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **Journal of biological chemistry**, v. 193, n. 1, p. 265-275, 1951.

MACHADO DE-MELO, A. A.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. D.; SANCHO, M. T.; PASCUAL-MATÉ, A. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. **Journal of Apicultural Research**, p. 1-33, 2017.

MALÁSIA. Departamento de Padrões da Malásia. Especificação - Mel Kelulut (abelha sem ferrão), 2017.

MARTINS, S. I. F. S.; JONGEN, W. M. F.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 9, p. 364-373, 2000.

MATO, I.; HUIDOBRO, J. F.; SIMAL-LOZANO, J.; SANCHO, M. T. Significance of nonaromatic organic acids in honey. **Journal of Food Protection**, v. 66, n. 12, p. 2371-2376, 2003.

MENEZES, C.; VOLLET-NETO, A.; CONTRERA, F. A. F. L.; VENTURIERI, G. C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The role of useful microorganisms to stingless bees and stingless beekeeping. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 153-171.

MICHENER, C. D. The Meliponini. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 3-18.

MONTE, A. M.; AZEVEDO, M. L. X.; DAS CHAGAS CARDOSO FILHO, F.; RODRIGUES, A. M. D.; DE MOURA, S. G.; MURATORI, M. C. S. Qualidade de méis de abelhas nativas sem ferrão do Estado do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 35, p.48-54, 2013.

MOO-HUCHIN, V. M.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; LIRA-MAAS, J. D.; PÉREZ-PACHECO, E.; ESTRADA-LEÓN, R.; MOO-HUCHIN, M. I.; SAURI-DUCH, E. Physicochemical Properties of *Melipona beecheii* Honey of the Yucatan Peninsula. **Journal of Food Research**, v. 4, n. 5, p. 25, 2015.

MOREIRA, R. F. A.; DE MARIA, C. A.; PIETROLUONGO, M.; TRUGO, L. C. Chemical changes in the non-volatile fraction of Brazilian honeys during storage under tropical conditions. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1236-1241, 2007.

MOREIRA, R. F. A.; DE MARIA, C. A.; PIETROLUONGO, M.; TRUGO, L. C. Chemical changes in the volatile fractions of Brazilian honeys during storage under tropical conditions. **Food Chemistry**. v. 121, p. 697–704, 2010.

MOUGA, D. M. D. S.; DEC, E. The stingless bees of Santa Catarina State, Southern Brazil. **Acta Biológica Catarinense**. v. 2, p. 5 - 20, 2015.

MURKOVIC, M. Phenolic Compounds: Occurrence, Classes, and Analysis. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Ed.). **Encyclopedia of Food and Health**. Oxford: Academic Press, 2016. p. 346-351.

NAKABAYASHI, T. Formation of Organic Acids from Sucrose by Roast. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, v. 25, n. 5, p. 257-261, 1978.

NASCIMENTO, A. S.; MARCHINI, L. C.; DE CARVALHO, C. A. L.; ARAÚJO, D. F. D.; DE OLINDA, R. A.; DA SILVEIRA, T. A. Physical-chemical parameters of honey of

stingless bee (Hymenoptera: Apidae). **American Chemical Science Journal**, v. 7, p.139-149, 2015.

NAYIK, G. A.; SUHAG, Y.; MAJID, I.; NANDA, V. Discrimination of high altitude Indian honey by chemometric approach according to their antioxidant properties and macro minerals. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 2, p. 200-207, 2018.

NAYIK, G. A.; NANDA, V. A chemometric approach to evaluate the phenolic compounds, antioxidant activity and mineral content of different unifloral honey types from Kashmir, India. **LWT-Food Science and Technology**, v. 74, p. 504-513, 2016.

NOGUEIRA-NETO, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT-GIOVANNINI, A. S. T. R. I. D.; VIANA, B. F.; CASTRO, M. D. **Biologia e manejo das abelhas sem ferrão**. São Paulo: Tecnapis, 1986. 54p.

NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Nogueirapis, 1997. 446p.

NOMBRÉ, I.; SCHWEITZER, P.; BOUSSIM, J. I.; RASOLODIMBY, J. M. Impacts of storage conditions on physicochemical characteristics of honey samples from Burkina Faso. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 7, p. 458-463, 2010.

NORDIN, A.; SAINIK, N. Q. A. V.; CHOWDHURY, S. R.; SAIM, A. B.; IDRUS, R. B. H. Physicochemical properties of stingless bee honey from around the globe: A comprehensive review. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 73, p. 91-102, 2018.

NWEZE, J. A.; OKAFOR, J. I.; NWEZE, E. I.; NWEZE, J. E. Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of two stingless bee honeys: a comparison with *Apis mellifera* honey from Nsukka, Nigeria. **BMC research notes**, v. 10, n. 1, p. 566, 2017.

ODDO, L. P.; HEARD, T. A.; RODRÍGUEZ-MALAVAR, A.; PÉREZ, R. A.; FERNÁNDEZ-MUIÑO, M.; SANCHO, M. T.; SESTA, J.; LUSCO, L.; VIT, P. Composition and antioxidant activity of *Trigona carbonaria* honey from Australia. **Journal of Medicinal Food**, v. 11, n. 4, p. 789-794, 2008.

OLIVEIRA P. S.; MÜLLER, R. C. S.; DANTAS, K. D. G. F.; ALVES, C. N.; VASCONCELOS, M. A. M. D.; VENTURIERI, G. C. Ácidos fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante em méis de *Melipona fasciculata*, *M. flavolineata* (Apidae, Meliponini) e *Apis mellifera* (Apidae, Apini) da Amazônia. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p.1728-1732, 2012.

OLIVEIRA, E. N. A de.; SANTOS, D. da C. Análise físico-química de méis de abelhas africanizada e nativa. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 2, p.132-8, 2011.

OLIVEIRA, F. A.; DE ABREU, A. T.; DE OLIVEIRA NASCIMENTO, N.; FROES-SILVA, R. E. S.; ANTONINI, Y.; NALINI JR, H. A.; DE LENA, J. C. Evaluation of matrix effect on the determination of rare earth elements and As, Bi, Cd, Pb, Se and In in honey and pollen of native Brazilian bees (*Tetragonisca angustula*–Jataí) by Q-ICP-MS. **Talanta**, v. 162, p. 488-494, 2017.

- OLIVEIRA, F. A.; ABREU, A. T. D.; NASCIMENTO, N. D. O.; FROES, R. E. S.; NALINI JR, H. A.; ANTONINE, Y. Mineral content in honey and pollen from native stingless bees *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) in the Iron Quadrangle, Brazil. **Journal of Apicultural Research**, p. 1-12, 2020.
- OLIVEIRA, K. A. de M.; RIBEIRO, L. S.; OLIVEIRA, G. V. Caracterização microbiológica, físico-química e microscópica de mel de abelhas canudo (*Scaptotrigona depilis*) e jataí (*Tetragonisca angustula*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 15, p. 239-248, 2013.
- OLIVEIRA, R. G.; JAIN, S.; LUNA, A. C.; FREITAS, L. D. S.; ARAÚJO, E. D. D. Screening for quality indicators and phenolic compounds of biotechnological interest in honey samples from six species of stingless bees (Hymenoptera: Apidae). **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 552-557, 2017.
- PANDEY, N.; TIWARI, A. Human health risk assessment of heavy metals in different soils and sediments. In: KUMAR, V.; SHARMA, A.; CERDÀ, A. **Heavy Metals in the Environment**, Elsevier, 2021. p. 143-163.
- PARVANOV, P.; DINKOV, D.; TANANAKI, C. Invertase activity and carbohydrate spectrum of organic acacia and polyfloral honey after one-year storage. **Bulgarian Journal of Veterinary Medicine**, v. 15, n. 3, p. 198-205, 2012.
- PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; O'DONNELL, C.; TIWARI, B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 1, p. 3-11, 2010.
- PIMENTEL-GONZÁLEZ, D. J.; JIMÉNEZ-ALVARADO, R.; HERNÁNDEZ-FUENTES, A. D.; FIGUEIRA, A. C.; SUAREZ-VARGAS, A.; CAMPOS-MONTIEL, R. G. Potentiation of bioactive compounds and antioxidant activity in artisanal honeys using specific heat treatments. **Journal of Food Biochemistry**, v. 40, n. 1, p. 47-52, 2016.
- POPOFF, T.; THEANDER, O. L. O. F. Formation of aromatic compounds from carbohydrates PART III. **Acta Chemica Scandinavica**, v. 30, p. 397-402, 1976.
- PUCCIARELLI, A. B.; SCHAPOVALOFF, M. E.; KUMMRITZ, S.; SEÑUK, I. A.; BRUMOVSKY, L. A.; DALLAGNOL, A. M. Microbiological and physicochemical analysis of yateí (*Tetragonisca angustula*) honey for assessing quality standards and commercialization. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 46, n. 4, p. 325-332, 2014.
- QAMER, S.; AHAMED, F.; ALI, S. S.; SHAKOORI, A. R. Effect of storage on various honey quality parameters of *Apis dorsata* Honey from Nepal. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 45, n. 3, p. 741-747, 2013.
- RADOVIC, B. S.; CARERI, M.; MANGIA, A.; MUSCI, M.; GERBOLES, M.; ANKLAM, E. Contribution of dynamic headspace GC-MS analysis of aroma compounds to authenticity testing of honey. **Food Chemistry**, v. 72, n. 4, p. 511-520, 2001.

RAMÓN-SIERRA, J. M.; RUIZ-RUIZ, J. C.; ORTIZ-VÁZQUEZ, E. de la L. Electrophoresis characterisation of protein as a method to establish the entomological origin of stingless bee honeys. **Food Chemistry**, v. 183, p. 43-48, 2015.

RANNEH, Y.; ALI, F.; ZAREI, M.; AKIM, A. M.; ABD HAMID, H.; KHAZAAI, H. Malaysian stingless bee and Tualang honeys: A comparative characterization of total antioxidant capacity and phenolic profile using liquid chromatography-mass spectrometry. **Lwt**, v. 89, p. 1-9, 2018.

RIBEIRO, G. P.; VILLAS-BÔAS, J. K.; SPINOSA, W. A.; PRUDENCIO, S. H. Influence of freezing, pasteurization and maturation on Tiúba honey quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 20, p. 607-612, 2018.

RIZELIO, V. M.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. D. S. C.; MICKE, G. A.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Development of a fast MECK method for determination of 5-HMF in honey samples. **Food Chemistry**, v. 133, p. 1640-1645, 2012.

RODRÍGUEZ-MALAVÉ, A. J.; RASMUSSEN, C.; GUTIÉRREZ, M. G.; GIL, F., NIEVES, B.; VIT, P. Properties of honey from ten species of Peruvian stingless bees. **Natural Product Communications**, v. 4, n. 9, p. 1221-1226, 2009.

ROSENBERG, S. L. Fermentation of pentose sugars to ethanol and other neutral products by microorganisms. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 2, n. 3, p. 185-193, 1980.

RÓŻAŃSKA, H.; OSEK, J. Effect of storage on microbiological quality of honey. **Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy**, v. 56, n. 2, p. 161-163, 2012.

RUIZ-ARGÜESO, T.; RODRIGUEZ-NAVARRO, A. Gluconic acid-producing bacteria from honey bees and ripening honey. **Microbiology**, v. 76, n. 1, p. 211-216, 1973.

SAHINLER, N.; GUL, A. Effect of heating and storage on honey hydroxy methylfurfural and diastase activity. **Journal of Food Technology**, v. 3, p. 152-157, 2005.

SANCHO, M. T.; MATO, I.; HUIDOBRO, J. F.; FERNÁNDEZ-MUIÑO, M. A.; PASCUAL-MATÉ, A. Nonaromatic Organic Acids of Honeys. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 447-458.

SHANKAR, H. A. Mineral Deficiencies. In: RYAN, T. E.; HILL, R. D.; SOLOMON, T.; ARONSON E. N.; ENDY, T. P. **Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases** (Tenth Edition), Elsevier, 2020. p. 1048-1054.

SANTA CATARINA. Lei nº 16.171, de 14 de Novembro de 2013. **Criação, o comércio e o transporte de abelhas-sem-ferrão (meliponíneas) no Estado de Santa Catarina**. Diário Oficial do Estado, Santa Catarina, 14 de novembro de 2013.

SÃO PAULO. Resolução SAA-52, de 03 de outubro de 2017. **Regulamento Técnico de Identidade e Padrão do mel elaborado pelas abelhas da subfamília Meliponinae (Hymenoptera, Apidae), conhecidas por Abelhas sem Ferrão – ASF e os requisitos de processamento e segurança**. Diário Oficial do Estado, São Paulo, 17 de outubro de 2017.

- SARIC, G.; MARKOVIĆ, K.; MAJOR, N.; KRPAN, M.; URŠULIN-TRSTENJAK, N.; HRUŠKAR, M.; VAHČIĆ, N. Changes of antioxidant activity and phenolic content in acacia and multifloral honey during storage. **Food Technology and Biotechnology**, v. 50, n. 4, p. 434-441, 2012.
- SCHVEZOV, N.; PUCCIARELLI, A. B.; VALDES, B.; DALLAGNOL, A. M. Characterization of yateí (*Tetragonisca fiebrigi*) honey and preservation treatments: Dehumidification, pasteurization and refrigeration. **Food Control**, v. 111, p. 107080, 2020.
- SELVARAJU, K.; VIKRAM, P.; SOON, J. M.; KRISHNAN, K. T.; MOHAMMED, A. Melissopalynological, physicochemical and antioxidant properties of honey from West Coast of Malaysia. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 5, p. 2508-2521, 2019.
- SERAGLIO, S. K. T.; BERGAMO, G.; MOLOGNONI, L.; DAGUER, H.; SILVA, B.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Quality changes during long-term storage of a peculiar Brazilian honeydew honey: "Bracatinga". **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 97, p. 103769, 2021.
- SGARIGLIA, M. A.; VATTUONE, M. A.; VATTUONE, M. M. S.; SOBERÓN, J. R.; SAMPIETRO, D. A. Properties of honey from *Tetragonisca angustula fiebrigi* and *Plebeia wittmanni* of Argentina. **Apidologie**, v. 41, n. 6, p. 667-675, 2010.
- SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757–781, 2015.
- SHAMSUDIN, S.; SELAMAT, J.; SANNY, M.; ABD-RAZAK, S. B.; JAMBARI, N. N.; MIAN, Z.; KHATIB, A. Influence of origins and bee species on physicochemical, antioxidant properties and botanical discrimination of stingless bee honey. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 239-264, 2019.
- SHIBAO, J.; BASTOS, D. H. M. Produtos da reação de Maillard em alimentos: implicações para a saúde. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 6, p.895-904, 2011.
- SILVA, A.; DOS S. ALVES, C. N.; FERNANDES, K. D. G.; MÜLLER, R. Classification of honeys from Pará State (Amazon region, Brazil) produced by three different species of bees. **Journal of the Brazilian chemical Society**, v. 24, n. 7, p. 1135-1145, 2013.
- SILVA, I. A. A.; SOUZA, A. L.; CORDEIRO, A. M. T. M.; SOLEDADE, L. E. B.; QUEIROZ, N.; SOUZA, A. G. Thermal degradation of honeys and evaluation of physicochemical properties. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 114, n. 1, p. 353-358, 2013.
- SILVA, P. D. L. M.; DE LIMA, L. S.; CAETANO, Í. K.; TORRES, Y. R. Comparative analysis of the volatile composition of honeys from Brazilian stingless bees by static headspace GC–MS. **Food Research International**, v. 102, p. 536-543, 2017.
- SILVA, T. M. S.; DOS SANTOS, F. P.; EVANGELISTA-RODRIGUES, A.; DA SILVA, E. M. S.; DA SILVA, G. S.; DE NOVAIS, J. S.; DOS SANTOS, F. A. R.; CAMARA, C. A. Phenolic compounds, melissopalynological, physicochemical analysis and antioxidant activity

of jandaíra (*Melipona subnitida*) honey. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 29, n. 1, p. 10-18, 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p.144-158, 1965.

SOUSA, J. M. B.; DE SOUZA AQUINO, I.; MAGNANI, M.; DE ALBUQUERQUE, J. R.; DOS SANTOS, G. G.; DE SOUZA, E. L. Aspectos físico-químicos e perfil sensorial de méis de abelhas sem ferrão da região do Seridó, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1765-1774, 2013.

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

SOUZA, B. D. A.; MARCHINI, L. C.; ODA-SOUZA, M.; CARVALHO, C. A. L. D.; ALVES, R. M. D. O. Caracterização do mel produzido por espécies de *Melipona Illiger*, 1806 (Apidae: Meliponini) da região nordeste do Brasil: 1.Características físico-químicas. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 303-308, 2009.

SOUZA, B. D. A.; CARVALHO, C. A. L. D.; SODRÉ, G. D. S.; MARCHINI, L. C. Características físico-químicas de amostras de mel de *Melipona asilvai* (Hymenoptera: Apidae). **Ciência Rural**, v. 34, p.1623-1624, 2004.

SOUZA, R. C. D. S.; YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J. P. L.; OLIVEIRA, F. P. M. Valor nutricional do mel e pólen de abelhas sem ferrão da região amazônica. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 333-336, 2004.

STEELE, R. (Ed.). **Understanding and measuring the shelf-life of food**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. 448p.

SUNTIPARAPOP, K.; PRAPAIPONG, P. CHANTAWANNAKUL, P. Chemical and biological properties of honey from Thai stingless bee (*Tetragonula leaviceps*). **Journal of Apicultural Research**, v. 51, n. 1, p. 45-52, 2012.

TAO, Z.; RAFFEL, R. A.; SOUID, A. K.; GOODISMAN, J. Kinetic studies on enzyme-catalyzed reactions: oxidation of glucose, decomposition of hydrogen peroxide and their combination. **Biophysical journal**, v. 96, p. 2977-2988, 2009.

TORRES, A.; GAREDEW, A.; SCHMOLZ, E.; LAMPRECHT, I. Calorimetric investigation of the antimicrobial action and insight into the chemical properties of “angelita” honey—a product of the stingless bee *Tetragonisca angustula* from Colombia. **Thermochimica acta**, v. 415, n. 1, p. 107-113, 2004.

TRUCHADO, P.; VIT, P.; FERRERES, F.; TOMAS-BARBERAN, F. Liquid chromatography–tandem mass spectrometry analysis allows the simultaneous characterization of C-glycosyl and O-glycosyl flavonoids in stingless bee honeys. **Journal of Chromatography A**, v. 1218, n. 42, p. 7601-7607, 2011.

TUKSITHA, L.; CHEN, Y. L. S.; CHEN, Y. L.; WONG, K. Y.; PENG, C. C. Antioxidant and antibacterial capacity of stingless bee honey from Borneo (Sarawak). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 2, p. 563-570, 2018.

TURKMEN, N.; SARI, F.; POYRAZOGLU, E. S.; VELIOGLU, Y. S. Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey. **Food Chemistry**, v. 95, n. 4, p. 653–657, 2006.

VÁZQUEZ-QUIÑONES, C. R.; MORENO-TERRAZAS, R.; NATIVIDAD-BONIFACIO, I.; QUIÑONES-RAMÍREZ, E. I.; VÁZQUEZ-SALINAS, C. Microbiological assessment of honey in México. **Revista Argentina de microbiología**, v. 50, n. 1, p. 75-80, 2018.

VILLAS-BÔAS, J. **Manual Tecnológico: Mel de Abelhas sem Ferrão**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012. 95p.

VISQUERT, M.; VARGAS, M.; ESCRICHE, I. Effect of postharvest storage conditions on the colour and freshness parameters of raw honey. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 1, p. 181-187, 2014.

VIT, P. Caracterización fisicoquímica de mieles de abejas sin aguijón (Meliponini) de Venezuela. **Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel**, v. 40, n. 2, p. 7-12, 2009.

VIT, P.; RODRÍGUEZ-MALAVÉ, A.; ALMEIDA, D.; ALMEIDA SOUZA, B.; CARLOS MARCHINI, L.; FERNÁNDEZ DÍAZ, C.; ESTHER TRICIO, A.; KHAN VILLAS-BÔAS, J.; HEARD, T. A. A scientific event to promote knowledge regarding honey from stingless bees: 1. Physical-chemical composition. **Magistra**, v. 18, n. 4, p. 270-276, 2006.

VIT, P.; GONZALEZ, I.; SORROZA, L.; PEDRO, S. R. Caracterización fisicoquímica de miel de angelita *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) producida en Esmeraldas, Ecuador. **Ciencia Unemi**, v. 9, n. 20, p. 77-84, 2016.

VIT, P.; GUTIÉRREZ, M. G.; RODRÍGUEZ-MALAVÉ, A. J.; AGUILERA, G.; FERNÁNDEZ-DÍAZ, C.; TRICIO, A. E. Comparación de mieles producidas por la abeja yateí (*Tetragonisca fiebrigi*) en Argentina y Paraguay. **Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana**, v. 43, n. 2, p. 219-226, 2009.

VIT, P.; MEJÍAS, A.; RIAL, L.; RUIZ, J.; PEÑA, S.; GONZÁLEZ, A. C.; RODRIGUEZ-MALAVÉ, A.; ARRAEZ, M.; GUTIERREZ, C.; ZAMBRANO, A.; BARTH, O. M. Conociendo la miel de *Melipona favosa* en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. **Revista del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel**, v. 43, n. 1, p.15-19, 2012.

VIT, P.; ODDO, L. P.; MARANO, M. L.; DE MEJIAS, E. S. Venezuelan stingless bee honeys characterized by multivariate analysis of physicochemical properties. **Apidologie**, v. 29, n. 5, p. 377-389, 1998.

VIT, P. La Miel Precolombina de Abejas sin Aguijón (Meliponini), aún no tiene Normas de Calidad. **Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas**, v. 42, n. 3, p. 415–423, 2008.

VIT, P. *Melipona favosa* pot-honey from Venezuela. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 363-373.

VIT, P.; BOGDANOV, S.; KILCHENMANN, V. Composition of Venezuelan honeys from stingless bees (Apidae: Meliponinae) and *Apis mellifera* L. **Apidologie**, v. 25, n. 3, p. 278-288, 1994.

VIT, P.; PULCINI, P. Diastase and invertase activities in Meliponini and Trigonini honeys from Venezuela. **Journal of Apicultural Research**, v. 35, n. 2, p. 57-62, 1996.

VIT, P.; SOLER, C.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. Profiles of phenolic compounds of *Apis mellifera* and *Melipona* spp. honeys from Venezuela. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A**, v. 204, n. 1, p. 43-47, 1997.

VIT, P.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. Flavonoids in Meliponinae honeys from Venezuela related to their botanical, geographical and entomological origin to assess their putative anticataract activity. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A**, v. 206, n. 4, p. 288-293, 1998.

WAGNER, K. H.; DERKITS, S.; HERR, M.; SCHUH, W.; ELMADFA, I. Antioxidative potential of melanoidins isolated from a roasted glucose–glycine model. **Food Chemistry**, v. 78, n. 3, p. 375–382, 2002.

WEDMORE, E. The accurate determination of the water content of honeys. **Bee World** v. 36, p. 197–206, 1955.

YAYLAYAN, V. A. Recent advances in the chemistry of Strecker degradation and Amadori rearrangement: Implications to aroma and color formation. **Food Science and Technology Research**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2003.

ZANUSSO, J. Apicultura, 2011. Disponível em:
<http://wp.ufpel.edu.br/apicultura/files/2011/04/Apostila_Apicultura.pdf>. Acesso em 20 out.2016.

ZEECE, M. Vitamins and minerals. In: ZEECE, M. **Introduction to the Chemistry of Food**, Academic Press, 2020. p. 163-212.

ZULUAGA-DOMÍNGUEZ, C. M.; DÍAZ-MORENO, A. C.; FUENMAYOR, C. A.; QUICAZÁN, M. C. An Electronic Nose and Physicochemical Analysis to Differentiate Colombian Stingless Bee Pot-Honey. In: VIT, P.; PEDRO, S. R. M.; ROUBIK, D. **Pot-honey: a legacy of stingless bees**. New York: Springer, 2013. p. 417-427.

APÊNDICE A - Limites de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) dos compostos fenólicos identificados nas amostras de méis de abelhas sem ferrão.

Compostos	LOD (mg L⁻¹)	LOQ (mg L⁻¹)
Ácido <i>p</i> -cumárico	0,001	0,004
Ácido salicílico	0,002	0,005
Ácido ferulico	0,002	0,006
Ácido <i>p</i> -hidroximetilbenzóico	0,020	0,070
Ácido gálico	0,023	0,076
Ácido siríngico	0,005	0,013
Ácido sinápico	0,006	0,019
Acido protocatecuico	0,010	0,037
Ácido vanílico	0,011	0,022
Ácido <i>p</i> -aminobenzóico	0,050	0,155
Ácido clorogênico	0,002	0,007
Naringenina	0,001	0,004
Apigenina	0,001	0,003
Hispidulina	0,001	0,004
Taxifolina	0,003	0,010
Crisina	0,003	0,009
Carnosol	0,001	0,004
Quercetina	0,001	0,004
Eriodictiol	0,002	0,004
Kaempferol	0,015	0,045
Vanilina	0,007	0,027

ANEXO A - Artigo de revisão publicado na revista Food Reviews International, produzido a partir da revisão bibliográfica deste trabalho.



FOOD REVIEWS INTERNATIONAL
<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1884875>



REVIEW



Stingless bee honey: a precious but unregulated product - reality and expectations

Francieli Braghini , Fabíola C. Biluca , Mayara Schulz, Luciano V. Gonzaga , Ana C. O. Costa , and Roseane Fett 

Department of Food Science and Technology, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

ABSTRACT

Stingless bee honey is a unique product with physicochemical characteristics and distinct antioxidant, antimicrobial, and medicinal properties from *Apis mellifera* honey. However, it does not fall within most of the limits imposed by current regulations for honey. In this context, this review aimed to demonstrate the diversity of stingless bee honeys, comparing the thresholds with the current regulation and the suggested for product control. Besides, considering that this honey is little explored commercially, this review provides current data on their chemical composition and health-promoting properties, contributing to product dissemination and providing support for future research.

KEYWORDS

Regulation; chemical composition; antioxidant capacity; antimicrobial activity; health-promotion properties

Introduction

Stingless bee honey is a product obtained from plant nectar and exudate or excretion of plant-sucking insects collected by bees belonging to the tribe Meliponini, subfamily Apinae. As the popular name suggests, stingless bees are so-called as they do not have a sting, unlike the *Apis mellifera* bees – those that produce traditional honey, recognized worldwide. Also, the stingless bees have a short flight in search of nectar, preferentially collecting from creeping flowers. They make oval pots (made of mixing beeswax, resins from plants and the mandibular secretion of the bees) to store honey and pollen. Do not produce royal jelly, and they are morphologically distinct each other, with different colours and sizes, each with its social habits.^[1,2]

These bees are native and occurring naturally in tropical and subtropical regions the world (Latin America, Africa, South Asia, and northern Oceania), with more than 500 species, and 32 genus identified. These bees are docile and, therefore, do not require protective equipment in their handling and can be raised in rural and urban environments. Such advantages make the production of stingless honey bees an economically viable activity, easy to perform and maintain, which has attracted the attention of producers, representing an alternative source of income.^[3] Furthermore, stingless bees produce a little amount of honey (1–5 kg per hive/year) when compared to *Apis mellifera* bees (20 kg per hive/year).^[4] This makes it a rare product with higher market value (US 100 USD/kg for stingless bee honeys and US 20–40 USD/kg for *Apis mellifera* honeys).^[5,6] These bees, in addition to honey, manufacture other products in the hive, such as propolis, geopropolis, and wax, which have been widely studied and deserve attention.^[7,8]

However, meliponiculture (the name used for the practice of stingless bees beekeeping) is still a little valued and recognized activity, with low incentive, because of the lack of knowledge and information, such as numerical production data, the main producing bees species and the lack of standardization for breeding bees and processing of the honey.^[3] Moreover, the absence of specific

CONTACT Francieli Braghini  francieli.braghini@gmail.com  Department of Food Science, Technology Laboratory of Food Chemistry, Federal University of Santa Catarina Admar Gonzaga, Itacorubi, Florianópolis, SC, Brazil. 1346.

© 2021 Taylor & Francis

ANEXO B - Artigo de pesquisa publicado na revista LWT, a partir dos resultados obtidos neste trabalho.

LWT - Food Science and Technology 131 (2020) 109724



Contents lists available at ScienceDirect

LWT - Food Science and Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/lwt



Effect of different storage conditions on physicochemical and bioactive characteristics of thermally processed stingless bee honeys



Francieli Braghini^{a,*}, Fabíola C. Biluca^a, Fernanda Ottequir^a, Luciano V. Gonzaga^a, Mayara da Silva^b, Luciano Vitali^b, Gustavo A. Micke^b, Ana C.O. Costa^a, Roseane Fett^{a,**}

^a Department of Food Science and Technology, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

^b Department of Chemistry, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
Melipona
Thermal treatment
Composition
Phenolic

ABSTRACT

Different storage conditions (22 and 40 °C for 90 days) were used in thermally processed stingless bee honey (90 °C), seeking to evaluate their effect on the physicochemical properties (moisture, acidity, 5-hydroxymethylfurfural, and diastase activity) and bioactive (antioxidant potential and individual phenolic compounds). In addition, a commercial honey sample was also stored at 4 °C for 365 days and evaluated for 5-hydroxymethylfurfural, and bioactive properties. The results of the physicochemical properties showed that at the end of storage, honeys had little changes when compared the start of storage (after thermal treatment), but differed from fresh honey. Only honeys stored at 40 °C showed quantifiable levels of 5-HMF. As for bioactive properties, honeys showed antioxidant potential after storage under all tested conditions (22, 40, and 4 °C). Other phenolic compounds, which were not present in the fresh honey, were identified after heat treatment. This profile remained after storage in all conditions tested. However, storage at 40 °C caused the greatest reductions in most tested compounds, while at 4 °C their amount was preserved. Thus, it can be concluded that storage at 40 °C is not recommended, and temperatures lower may assist in maintaining the characteristics of thermally processed stingless bee honeys.

1. Introduction

Honey is a natural food produced by honeybees. In the world, there are more than 20 thousand species of bees, which are divided into subfamilies (Michener, 2000). The most popular are bees of the genus *Apis* - subfamily Apinae, which produce honey in large quantities with well defined identity and quality standards and are therefore marketed worldwide (da Silva, Gaucho, Gonzaga, Costa, & Fett, 2016). There is another group, well-diversified, with more than 500 species distributed in tropical and subtropical regions. The bees of this group are recognized as stingless bees and belong to the subfamily Meliponinae (Vit, Pedro, & Roubik, 2013).

The stingless bees produce differentiated honey, with such as acidic and less sweet taste and more fluid texture (Costa, Sousa, da Silva, Garruti, & Madruga, 2018; de Sousa et al., 2016). This honey also recognized for its medicinal properties, which are attributed to their antioxidant activity and content of flavonoids and phenolic acids (Biluca et al., 2017; Rao, Krishnan, Salleh, & Gan, 2016). So stingless

bee honeys are valued honey in Latin America (Vit et al., 2013), South Asia (Malaysia and Thailand) (Chuttong, Chanbang, Sringarm, & Burgett, 2016; Ranneh et al., 2018) and Northern Oceania (Australia) (Oddo et al., 2008). But, its commercialization is still limited due to the low production (1–5 kg per colony/year) when compared to *Apis mellifera* bee (20 kg of honey per hive). There is also little knowledge about the product, and industrial production is low. But the main limitation is still the lack of specific standards that guarantee the identity and quality of this honey (Nordin, Sainik, Chowdhury, Saim, & Idrus, 2018).

Moreover, the stingless bee honey may deteriorate faster than *Apis mellifera* honey because of their specific physicochemical characteristics, which include higher moisture content and acidity (Nordin et al., 2018; Ávila, Beux, Ribani, & Zambiazzi, 2018). Thus, the determination of the adequate processing in terms of conservation and storage, the prevention of fermentation or crystallization, and the control of moisture to prevent the growth of certain fungi are fundamental criteria to expand the productive chain of these honeys.

In this way, the use of heat treatment in stingless bee honeys can be

* Corresponding author. Department of Food Science and Technology, Laboratory of Food Chemistry, Federal University of Santa Catarina, Admar Gonzaga 1346, 88034-000, Itacorubi, Florianópolis, SC, Brazil.

** Corresponding author.

E-mail addresses: francieli.braghini@gmail.com (F. Braghini), roseane.fett@gmail.com (R. Fett).

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109724>

Received 3 February 2020; Received in revised form 19 April 2020; Accepted 5 June 2020

Available online 08 June 2020

0023-6438/ © 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

ANEXO C - Demais produções geradas com o presente trabalho.



I Simpósio de Integração e Internacionalização das Pós-Graduações do CCA-UFSC
 "Produção sustentável de alimentos no âmbito das Ciências Agrárias"
 15 a 17 de outubro de 2019
 Florianópolis/SC

Certificado

Certificamos que o trabalho "AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS APÓS O ARMAZENAMENTO DO MEL DE *Melipona mondury* TRATADO TERMICAMENTE", sob autoria de Francieli Braghini, Fabíola C. Biluca, Adriane C. dos Santos, Luciano V. Gonzaga, Luciano Vitali, Gustavo A. Micke, Ana C. O. Costa e Roseane Fett, foi apresentado por **FRANCIELE BRAGHINI**, na forma de Pôster Digital, durante o 1º Simpósio de Integração e Internacionalização das Pós-Graduações do CCA-SinPós, promovido pelos Programas de Pós-Graduação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, no período de 15 a 17 de outubro de 2019.

Realização



Leila Hayashi

Profa. Dra. Leila Hayashi
 Presidente do I SinPós

Apoio



VIII SEMANA ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 "TECNOLOGIA E SOCIEDADE: OS DESAFIOS DA CIÊNCIA DOS ALIMENTOS."
 09 A 13 DE SETEMBRO DE 2019
 FLORIANÓPOLIS/SC

Certificado

Certificamos que o trabalho USO DO TRATAMENTO TÉRMICO VISANDO A MANUTENÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS MEIS DE ABELHA SEM FERRÃO APÓS O ARMAZENAMENTO de autoria de FRANCIELE BRAGHINI; FABIOLA C. BILUCA; ADRIANE C. DOS SANTOS; LUCIANO V. GONZAGA; ANA C. O. COSTA; ROSEANE FEIT foi apresentado na forma de e-pôster, durante a VIII Semana Acadêmica de Ciência e Tecnologia de Alimentos, realizada de 09 a 13 de setembro de 2019, no Auditório da Epagri, em Florianópolis/SC - Brasil.

Florianópolis, 13 de setembro de 2019.

REALIZAÇÃO



Marília Miotto
Prof.ª Dr.ª Marília Miotto
 Coordenadora da VIII SACTA

APOIO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Pró-Reitoria de Extensão

Certificado

Certificamos que Francieli Braghini
 CPF 071.605.979-74
 participou do(a) MOSTRA CIENTÍFICA DA VI SEMANA ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 realizado no período de 28/08/2017 a 30/08/2017
 como Apresentador de Poster do(a) do resumo selecionado pelo Comitê Científico, como autor principal
 Carga horária: 10 horas

TÓPICOS ABORDADOS

Trabalho científico intitulado "EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE COMPOSTOS FENÓLICOS DE MÊIS DE *Melipona* bicolor ARMAZENADOS POR 12 MESES", de autoria de Francieli Braghini, Fabíola C. Biluca, Luciano V. Gonzaga, Luciano Vitali, Gustavo A. Micke, Ana Carolina de Oliveira Costa e Roseane Fett.

Coordenador: Maria Manuela Camino Feltes
 Protocolo: 201707592

Este certificado dispensa assinatura
 UFSC - PROEX
 Campus Reitor João David Ferreira Lima
 Florianópolis - Santa Catarina - Brasil
 CNPJ: 83.899.526/0001-82