



**MARIA CECÍLIA EVANGELISTA VASCONCELOS SCHIASSI**

**CARACTERIZAÇÃO DE MÉIS DA FLORA NATIVA E  
EXÓTICA DE MINAS GERAIS**

**LAVRAS - MG  
2020**

**MARIA CECÍLIA EVANGELISTA VASCONCELOS SCHIASSI**

**CARACTERIZAÇÃO DE MÉIS DA FLORA NATIVA E EXÓTICA DE  
MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Doutor.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Queiroz  
Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Rios de Souza  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Schiassi, Maria Cecília Evangelista Vasconcelos.  
Caracterização de méis da flora nativa e exótica de Minas  
Gerais / Maria Cecília Evangelista Vasconcelos Schiassi. – 2020.  
93 p.

Orientador(a): Fabiana Queiroz.  
Coorientador(a): Vanessa Rios de Souza.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.  
Bibliografia.

1. Armazenamento. 2. Viscosidade. 3. Cristalização. I. Queiroz,  
Fabiana. II. Souza, Vanessa Rios de. III. Título.

**MARIA CECÍLIA EVANGELISTA VASCONCELOS SCHIASSI**

**CARACTERIZAÇÃO DE MÉIS DA FLORA NATIVA E EXÓTICA DE MINAS  
GERAIS**

**CHARACTERIZATION OF HONEYS OF THE NATIVE AND EXOTIC FLORA OF  
MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 20 de março de 2020.

Dr. Jaime Vilela de Resende UFLA

Dra. Vanessa Rios de Souza UFLA

Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho UFLA

Dra. Patrícia Aparecida Pereira Pimenta UFOP

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Queiroz  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2020**

*À minha mãe Adriana Evangelista Vasconcelos, que mesmo não estando mais presente no meio de nós, quando viva, nunca mediu esforços para me ajudar; agradeço pelos ensinamentos compartilhados e exemplos deixados.*

*Ao meu pai Orlando Pereira Vasconcelos, aos meus avós Cecília Evangelista e José Augusto, tia Cláudia Evangelista, tio Paulo Dionizio, primo Paulo Victor e a toda família, por viverem comigo este sonho e por batalharem sem medir esforços para que este se concretizasse e dos quais muito me orgulho.*

*Ao Leonardo, meu esposo, pelo apoio, companheirismo e incentivo para conquistar meus objetivos.*

***Dedico***

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar presente em tudo o que acontece de mais simples no nosso dia a dia e por me fortalecer e conduzir sempre em seus caminhos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela possibilidade de realização deste curso. Em especial, a professora Fabiana Queiroz, por ter conduzido minha orientação, pela confiança e pelos ensinamentos. Não somente por isso, mas também pelo caráter generoso, inteligência, ética e competência. Trabalhar ao seu lado muito me acrescentou como pessoa e profissional.

Em especial, à professora Vanessa Rios de Souza, pela coorientação, amizade e dedicação para realização deste trabalho e pela disposição de sempre me ajudar. Agradeço imensamente pelo carinho e atenção.

À grande amiga Amanda Lago, pela amizade, paciência em me auxiliar sempre que precisei e pela sua participação neste trabalho. À prima e amiga Roseane Oliveira, por ter me apresentado a UFLA, o Departamento de Ciência dos Alimentos, pela ajuda, atenção e conselhos durante toda a minha caminhada em Lavras.

A todos os meus amigos do curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos e aos amigos do laboratório, em especial Luciana, Lorena, Angélica, Francielly, Bruna, Derlyene, Letícia, Aline, Cynara, Paula, Gabriel, Jefferson, Tainah e Nathila, agradeço pela ajuda concedida para a realização desta pesquisa, pelos momentos de convivência e pela amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro a esta pesquisa e pela bolsa concebida.

Enfim, obrigada a todos que, direta ou indiretamente, se fizeram presentes, torceram pelo meu sucesso e contribuíram para que esta pesquisa se tornasse realidade.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO GERAL

O Brasil, devido as condições climáticas e diversidade de flora, possui potencial para a produção de méis de diferentes floradas. Embora o mel silvestre seja o mais conhecido e consumido, a caracterização dos outros tipos de méis, muitas vezes pouco conhecidas e investigadas, é de fundamental importância para incentivar a produção e contribuir para maior inserção no mercado consumidor. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar diferentes méis florais (assa-peixe, café, eucalipto, laranjeira e vassourinha), polifloral (silvestre), extrafloral (cana-de-açúcar) e de melato (bracatinga) do estado de Minas Gerais. Para tanto, na primeira etapa os méis foram caracterizados em relação a suas propriedades físico-químicas, comportamento reológico, compostos bioativos, atividade antioxidante e características sensoriais. A segunda etapa do trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do armazenamento (14 °C/180 dias) nas características físicas, físico-químicas, reológicas e tendência de cristalização através de análises microscópicas. Na primeira parte do trabalho os dados físico-químicos de todos os méis se enquadraram nos limites definidos pela legislação. Os méis de assa-peixe, laranjeira e café apresentaram maior viscosidade, o mel de cana-de-açúcar se destacou por estar entre os méis com a maior atividade antioxidante, enquanto o mel de bracatinga se destacou em relação aos compostos fenólicos. Quanto à análise sensorial, não houve diferença significativa entre os méis florais sendo que estes apresentaram maior aceitabilidade que os demais. Na segunda parte do trabalho, pode-se observar que em geral, todos os méis apresentaram mudanças durante a estocagem. O mel de cana-de-açúcar se destacou por apresentar maior cristalização, processo influenciado pelo alto conteúdo de glicose e de frutose, e o mel de café foi o mais estável entre os méis analisados, com menor cristalização. A composição dos méis influenciou diretamente no processo de cristalização durante o armazenamento, alterando as características tais como atividade de água, viscosidade, cor e absorvância dos méis.

**Palavras-chave:** Armazenamento. Viscosidade. Análise sensorial. Cristalização. Mel

## GENERAL ABSTRACT

Brazil, due to climatic conditions and flora diversity, has the potential to produce honeys of different flowers. Although wild honey is the best known and consumed, the characterization of other types of honeys, often little known and investigated, is of fundamental importance to encourage production and contribute to greater insertion in the consumer market. Thus, the aim of this study was to evaluate different single-flower (assa-peixe, coffee, eucalyptus, laranjeira and vassourinha), polyphloral (silvestre), extrafloral (sugarcane) and honeydew (bracatinga) from the state of Minas Gerais. Therefore, in the first step, the honeys were characterized in relation to their physicochemical properties, rheological behavior, bioactive compounds, antioxidant activity and sensory characteristics. The second step of the study aimed to evaluate the effect of storage (14 °C/180 days) on physical, physicochemical, rheological characteristics and crystallization tendency through microscopic analysis. In the first part of the work, the physicochemical data of all honeys fell within the limits defined by the legislation. Assa-peixe, laranjeira and café honeys showed higher viscosity, sugarcane honey stood out for being among the honeys with the highest antioxidant activity, while bracatinga honey stood out in relation to phenolic compounds. As for the sensorial analysis, there was no significant difference between floral honeys, which showed greater acceptability than the others. In the second part of the work, it can be seen that in general, all honeys showed changes during storage. Sugar cane honey stood out for having greater crystallization, a process influenced by the high content of glucose and fructose, and coffee honey was the most stable among the honeys analyzed, with less crystallization. The composition of the honeys directly influenced the crystallization process during storage, changing characteristics such as water activity, viscosity, color and absorbance of the honeys.

**Keywords:** Storage. Viscosity. Sensory analysis. Crystallization. Honey.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1 – Flores (A) e mel (B) de assa-peixe.....	15
Figura 2 – Flores (A) e mel (B) de café. ....	16
Figura 3 – Flor (A) e mel (B) de eucalipto.....	17
Figura 4 – Flores (A) e mel (B) de laranjeira. ....	18
Figura 5 – Flores (A) e mel (B) de vassourinha. ....	18
Figura 6 – Mel silvestre.....	19
Figura 7 – Abelhas no bagaço da cana-de-açúcar (A) e mel de cana-de-açúcar (B). ....	19
Figura 8 – Espécies de <i>Mimosa scabrella</i> Bentham (A), abelhas coletando melato de bracatinga (B) e mel de melato de bracatinga (C). ....	20
Figura 9 – Fluxograma geral de processamento de mel.....	23

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

Figura 1 – Relação entre viscosidade e taxa de cisalhamento dos diferentes méis descritos pelo modelo da lei de Newton a 20 °C. ....	57
Figura 2 – Análise de Componentes Principais (PCA) para os parâmetros químicos, físico-químicos e físicos dos diferentes méis. Sólidos Solúveis (SS); Atividade de água ( $a_w$ ); Viscosidade Newtoniana ( $\mu$ ); Hidroximetilfurfural (HMF). ....	58
Figure 3 – Análise de agrupamento obtido para os dados da Análise de Componentes Principais (PCA) para os parâmetros químicos, físico-químicos e físicos dos diferentes méis.....	59
Figura 4 – Mapa de Preferência interno de Três Vias para cor, aroma, sabor, consistência e impressão global (a) e análise de correspondência para <i>check-all-that-apply</i> (CATA) (b) dos diferentes méis. ....	62
Figura 5 – Análise de agrupamento obtido para os dados do teste CATA dos diferentes méis. ....	64

#### ARTIGO 2

Figura 1 – Análise de componentes principais (PCA) de méis de diferentes origens botânicas durante o armazenamento (14 °C/0, 60 e 180 dias), para os parâmetros de $a_w$ , cor ( $L^*$ , $C^*$ e $h^\circ$ ) e absorvância. AP (assa-peixe); BR (bracatinga); CF (café); CA (cana-de-açúcar); EU (eucalipto); LA (laranjeira); SI (silvestre); VA (vassourinha). ....	85
Figura 2 – Análise microscópica com luz polarizada de méis de diferentes origens botânicas durante o armazenamento (14 °C/120 e 180 dias; ampliação de 10x). ....	88

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 – Composição do mel. ....	14
Tabela 2 – Requisitos mínimos de qualidade do mel. ....	25

### SEGUNDA PARTE

#### ARTIGO 1

Tabela 1 – Aspectos químicos, físico-químicos e cor instrumental dos diferentes méis. .	52
Tabela 2 – Capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) e conteúdo fenólico total dos diferentes méis. ....	60
Tabela 3 – Análise sensorial dos diferentes méis. ....	61
Tabela 4 – Citação dos atributos sensoriais associados a cada amostra de méis pelos consumidores (n = 100) no questionário CATA. ....	65

#### ARTIGO 2

Tabela 1 – Teor de açúcares (frutose e glicose), umidade e a razões F/G e G/U presente em méis de diferentes origens botânicas. ....	78
Tabela 2 – Análise colorimétrica de méis de diferentes origens botânicas durante o armazenamento (14 °C/180 dias). ....	81
Tabela 3 – Equações de regressão para méis de diferentes origens botânicas durante o tempo de armazenamento. ....	84
Tabela 4 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros (viscosidade newtoniana, atividade da água e absorbância) para méis em diferentes tempos de armazenamento. ....	87

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	11
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>2.1</b>	<b>Mel</b> .....	13
<b>2.2</b>	<b>Classificação do mel</b> .....	14
<b>2.2.1</b>	<b>Méis florais</b> .....	15
<b>2.2.2</b>	<b>Mel extrafloral</b> .....	19
<b>2.2.3</b>	<b>Méis de melato</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Apicultura no Brasil e em Minas Gerais</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Produção do mel</b> .....	22
<b>2.5</b>	<b>Parâmetros de qualidade</b> .....	24
<b>2.6</b>	<b>Parâmetros sensoriais</b> .....	26
<b>2.7</b>	<b>Armazenamento e cristalização do mel</b> .....	27
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	31
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	32
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b> .....	44
	<b>ARTIGO 1 - QUALIDADE DE MÉIS DE DIFERENTES ORIGENS BOTÂNICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS</b> .....	44
	<b>ARTIGO 2 - EFEITO DA ORIGEM BOTÂNICA NA ESTABILIDADE E CRISTALIZAÇÃO DO MEL DURANTE O ARMAZENAMENTO.</b>	71

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

A legislação brasileira (BRASIL, 2000) e o Codex Alimentarius (2001), definem o mel como: “produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas, a partir do néctar das flores (méis florais) ou das secreções procedentes de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas (méis de melato), que as abelhas recolhem, transformam, combinam com substâncias específicas próprias, armazenam e deixam maturar nos favos da colmeia”.

O mel foi o primeiro adoçante a ser utilizado pelo homem (LORENTE; CARRETERO; MARTÍN, 2008) podendo ser comprovado por relatos nas culturas milenares como a chinesa e a grega (BARREIROS, 2012). O consumo de mel auxilia na prevenção de câncer e metástases (ORSOLIC; BASIC, 2004), possui efeito anti-inflamatório, sendo um potente inibidor do agente causador de úlceras pépticas e gastrite. Além de, apresentar significativa atividade antioxidante, antimicrobiana e é conhecido pelas suas propriedades cicatrizantes (NUTTER et al., 2016; PEREIRA; REIS, 2015).

O Brasil é um país que apresenta alto potencial para a produção de mel, uma vez que possui variação climática, flora diversificada, e ampla extensão territorial (ALMEIDA FILHO et al., 2011), o que possibilita sua produção ao longo do ano, com diferentes composições e características. O Brasil encontra-se em 12º lugar no ranking mundial de produção de mel, tendo produzido 42 mil t em 2017 (FAO, 2019). Em 2016, o estado de Minas Gerais, foi o terceiro maior produtor de mel do país, obteve uma produção de 4,9 mil t, se tornando destaque no agronegócio, devido ao aumento da produção do estado (IBGE, 2016).

Dentre os méis florais destacam-se os de assa-peixe (*Vernonia polysphaera*), café (*Coffea* spp.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), laranjeira (*Citrus sinensis*), silvestre e vassourinha (*Baccharis dracunculifolia* DC.), sendo o mel silvestre o mais amplamente produzido. Além dos méis florais, existem os méis de melato, tendo como exemplo o mel de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) (BRASIL, 2000; SOARES et al., 2017; ZHENG et al., 2019). No Brasil há também o mel extrafloral, denominado mel de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), elaborado pelas abelhas a partir da colheita da seiva de açúcar que brota do bagaço da cana-de-açúcar após o corte (BARTH, 2004).

Além da florada oriunda, as características do mel são também influenciadas pela espécie da abelha, natureza do solo, condições meteorológicas da área de produção, estado de maturação do mel, métodos de colheita, condições de processamento e armazenamento. Assim, as propriedades físico-químicas, nutricionais e reológicas, afetam as características sensoriais e

capacidade de cristalização dos méis durante o armazenamento (SILVA et al., 2016; ESCUREDO et al., 2013; KEK et al., 2017).

Nesse sentido, é importante caracterizar amostras de méis de diferentes regiões brasileiras, tal como os produzidos no estado de Minas Gerais, com a finalidade de contribuir para uma maior valorização do produto, auxiliando ainda mais para o desenvolvimento econômico e social dos produtores locais, principalmente das micro e pequenas empresas. O estudo em questão visa proporcionar o desenvolvimento econômico e social dos apicultores por meio da valorização de méis do estado de Minas Gerais, gerando renda para as populações locais, além de apresentar ao consumidor as diferenças existentes entre os diferentes tipos de méis.

Desta forma, os objetivos desta pesquisa foram analisar a qualidade de méis de diferentes origens botânicas do estado de Minas Gerais (Artigo 1) e avaliar o efeito da origem botânica na estabilidade de méis durante o armazenamento (Artigo 2).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Mel

A legislação brasileira (BRASIL, 2000) e o Codex Alimentarius (2001), definem o mel como: “produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas, a partir do néctar das flores (méis florais) ou das secreções procedentes de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas (méis de melato), que as abelhas recolhem, transformam, combinam com substâncias específicas próprias, armazenam e deixam maturar nos favos da colmeia”.

O mel mais popular e comercialmente disponível em todo o mundo é produzido por abelhas melíferas (*Apis* spp.) (FERNANDES; ROSA; CONTI-SILVA, 2018) e apresenta potencial uso terapêutico. Seu consumo ocorre desde os tempos antigos, principalmente como adoçante natural (LORENTE; CARRETERO; MARTÍN, 2008). É um produto natural, doce, muito apreciado pela sua riqueza de sabores e aromas, e sua cor é variável de quase incolor a pardo-escuro. Aqueles méis que apresentam tonalidades mais claras, normalmente são os de *citrus* sp., apresentam valor agregado mais alto, comparado aos outros tipos de méis, no entanto em algumas regiões os méis com tonalidade mais escura são mais apreciados (BOGDANOV; ROUFF; ODDO, 2004).

Orsolich e Basic (2004), relataram que através da ingestão de mel associa-se um efeito anti-metastático significativo, indicando que o mel ativa o sistema imunológico e seu consumo pode ser vantajoso no que diz respeito à prevenção de câncer e metástases. De acordo com Bilsel et al. (2002) e Bogdanov (2011) o mel apresenta efeito anti-inflamatório e estes autores relatam que a redução da inflamação pode ser devida ao efeito antibacteriano do mel ou a um efeito anti-inflamatório direto. Foi relatado por Bogdanov (2011) e Osato, Reddy e Graham (1999) que o mel é um potente inibidor do agente causador de úlceras pépticas e gastrite.

O mel também apresenta significativa atividade antioxidante, antimicrobiana (PEREIRA; REIS, 2015) e é conhecido pelas suas propriedades cicatrizantes (NUTTER et al., 2016), é um alimento natural e de fácil digestão (ARVANITOYANNIS; KRYSTALLIS, 2006; SHANTAL; ESCUREDO; CARMEN SEIJO, 2015). No entanto, o seu consumo deve ser evitado por crianças menores de 1 ano, visando prevenir o botulismo (DEWEY, 2000; MONTE; GIUGLIANI, 2004).

De elevado valor nutricional, o mel é um adoçante natural composto por aproximadamente 80% de carboidratos (40% de frutose, 35% de glicose e 5% de sacarose) e 20% de água (KAHRAMAN et al., 2010; ROSHAN et al., 2017; VALLIANOU et al., 2014). A sacarose possui um importante papel na qualidade do mel, visto que valores acima de 5%

podem indicar que houve adulteração ou que sua colheita foi realizada de maneira antecipada, o que representa um desacordo com a legislação vigente (BRASIL, 2000; SILVA et al., 2016).

Além da mistura complexa de carboidratos, o mel também contém componentes menores benéficos a saúde, como os ácidos orgânicos, vitaminas, minerais, aminoácidos, flavonoides e compostos fenólicos (CAN et al., 2015; NUTTER et al., 2016). A sua composição química e propriedades são dependentes principalmente da fonte do néctar recolhido pelas abelhas das espécies vegetais (PONTES; MARQUES; CAMARA, 2007), por isso apresentam características específicas. As condições climáticas da área de produção e o manejo do apicultor, possuem menor influência sobre estas características (CONSONNI; CAGLIANI; COGLIATI, 2013; MARCHINI; MORETI; OTSUK, 2005; TORNUK et al., 2013). A composição do mel conforme a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011) é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do mel.

<b>Componentes</b>	<b>Valor por 100g</b>
Umidade (%)	15,80
Energia (kcal)	309
Proteína (g)	0,00
Lipídeos (g)	0,00
Carboidratos (g)	84,00
Cinzas (g)	0,10
Cálcio (mg)	10,00
Magnésio (mg)	6,00
Manganês (mg)	0,38
Fósforo (mg)	4,00
Ferro (mg)	0,30
Sódio (mg)	6,00
Potássio (mg)	99,00
Zinco (mg)	0,20
Tiamina (mg)	0,11
Vitamina C (mg)	0,70

Fonte: Taco (2011).

## 2.2 Classificação do mel

Os méis podem ser classificados segundo a sua origem em méis florais, extraflorais ou méis de melato (BRASIL, 2000).

### 2.2.1 Méis florais

Os méis florais, são aqueles obtidos do néctar de flores e podem ser classificados em monofloral ou multifloral. Méis monoflorais são procedentes de uma única espécie de planta e apresentam características físico-químicas, sensoriais e microscópicas próprias o que os tornam mais procurados pelos consumidores e valorizados no mercado (BRASIL, 2000; KADAR et al., 2011; RIBEIRO et al., 2014) comparado aos méis multiflorais. A diversidade e a riqueza floral de Minas Gerais fazem com que exista uma grande diversidade de méis monoflorais ao longo do estado (BETTAR et al., 2015).

Dentre os méis monoflorais tem-se o de assa-peixe (*Vernonia polysphaera*), café (*Coffea* spp.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), laranjeira (*Citrus sinensis*) e vassourinha (*Baccharis dracunculifolia* DC.). O mel silvestre é classificado como multifloral (BRASIL, 2000), sendo o mais amplamente produzido.

- Mel de assa-peixe

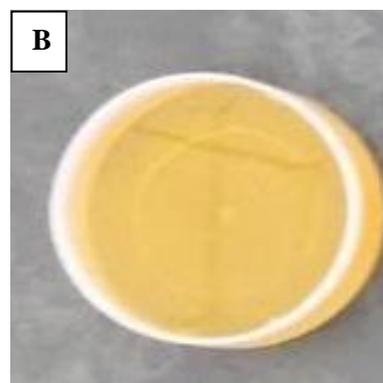
Sendo nativa do Brasil, o assa-peixe apresenta ampla distribuição, com ocorrência principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, sendo comum em áreas do cerrado, como em São Paulo, Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás (ALVES; NEVES, 2003; LORENZI; MATOS, 2008).

O assa-peixe produz flores (FIGURA 1A) que são muito procuradas pelas abelhas produtoras de mel no período de sua inflorescência que ocorre entre os meses de setembro a janeiro. Este mel (FIGURA 1B) apresenta coloração clara, sabor suave e informações relacionadas ao seu aroma são limitadas (RIBEIRO; MOREIRA; DE MARIA, 2008).

Figura 1 – Flores (A) e mel (B) de assa-peixe.



Fonte: Giacon (2018).



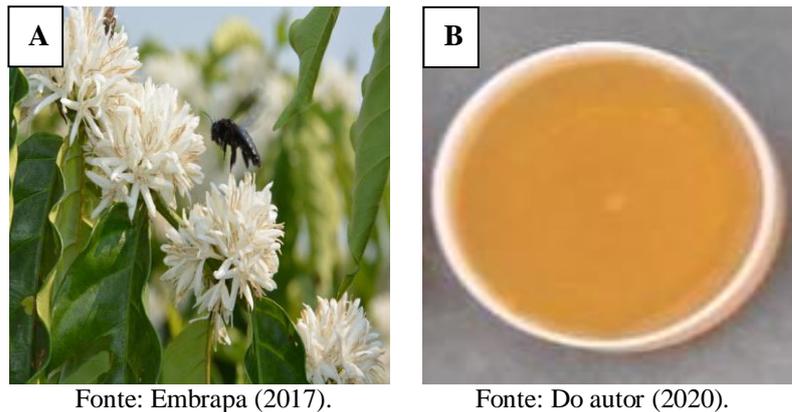
Fonte: Do autor (2020).

- Mel de café

A maioria das variedades da planta de café exibe flores (FIGURA 2A) entre os meses de setembro a novembro, sendo altamente aromáticas e produzem néctar e pólen abundantes (KADRI et al., 2016). O mel de café (FIGURA 2B), apresenta coloração clara, sabor suave, além de conter elementos de interesse nutricional e biológico, porém é um produto raro e com custo elevado (KADRI et al., 2016; SCHIEVANO et al., 2015).

Poucos estudos foram desenvolvidos sobre o mel de café, dentre eles está o estudo de Schievano et al. (2015) analisaram o pólen e seus metabólitos de *Coffea* spp. e o trabalho de Kadri et al. (2016) que caracterizou o mel de café oriundo do Espírito Santo. Assim, são necessários mais estudos para caracterizar suas propriedades de modo a incentivar a produção e o mercado deste tipo de mel.

Figura 2 – Flores (A) e mel (B) de café.



Fonte: Embrapa (2017).

Fonte: Do autor (2020).

- Mel de eucalipto

Nativo da Austrália, o gênero *Eucalyptus* é cultivado em todas as regiões quentes, principalmente na África do Norte e do Sul, Israel, América Central e do Sul (FLORES; PÉREZ; COELLO, 2014; PERSANO ODDO; PIRO, 2004; TRÁVNÍČEK; PŘIDAL, 2016). No Brasil, o estado de Minas Gerais, assim como nos outros estados brasileiros, a maioria dos hectares de floresta plantada é de eucaliptos (MARCHINI; MORETI, 2003; HILGERT-MOREIRA et al., 2014). Suas espécies são frequentemente utilizadas para a produção de celulose, madeira e carvão vegetal sendo consideradas como importante fonte de pólen e néctar para as abelhas (ABRAF, 2012; BASTOS; SILVEIRA; SOARES, 2003; MELO, 2004; SIMEÃO et al., 2015).

O mel de eucalipto (FIGURA 3B) apresenta significativa comercialização, sendo amplamente conhecido e difundido, pois é muito desejado pelos consumidores, que são atraídos

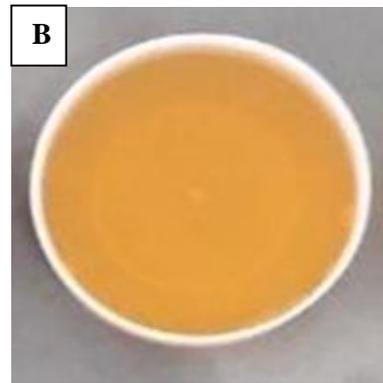
principalmente pelo seu aroma e propriedades medicinais, tais como compostos fenólicos (49,39 – 100,95 mg AGE/100 g); antioxidantes (33,85 – 79,38  $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ ); flavonoides (0,47 – 3,61 mg CE/100g); carotenoides totais (0,28 – 0,43 mg  $\beta\text{caroteno}/100\text{g}$ ) (BARBOSA; FILOMENO; TEIXEIRA, 2016; VALDÉS-SILVERIO et al., 2018).

Devido ao alto potencial melífero das espécies de *Eucalyptus* spp. (FALKENBERG; SIMÕES, 2011) este é amplamente utilizado pelos apicultores que associam colmeias de *Apis mellifera* L. a viveiros florestais durante a floração (FIGURA 3A) que ocorre entre dezembro a janeiro (DELPHINE et al., 2007).

Figura 3 – Flor (A) e mel (B) de eucalipto.



Fonte: Epaletes (2020).



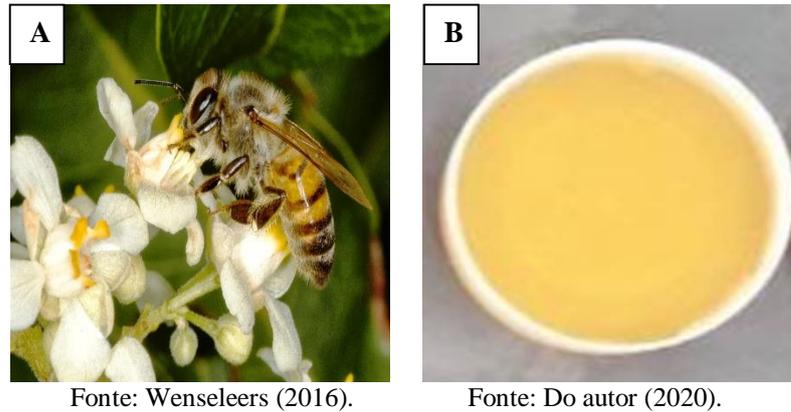
Fonte: Do autor (2020).

- Mel de laranja

A laranja produz flores (FIGURA 4A) a partir de agosto, e nesse período seu néctar é muito procurado pelas abelhas. Os méis cítricos, tal como o mel de laranja, são considerados um dos melhores méis uniflorais, sendo muito valorizados e apreciados pelos consumidores. Geralmente, esse tipo de mel apresenta cor clara, cristalização fina, sabor suave e cítrico, com aroma fresco e floral (ESCRICHE et al., 2011; KADAR et al., 2011; TERRAB; DÍEZ; HEREDIA, 2003; VIÑAS et al., 1992).

No mel de laranja (FIGURA 4B), alguns compostos têm sido sugeridos como marcadores de sua autenticidade, como a cafeína (SCHIEVANO et al., 2013), hesperetina, naringenina e ácido cafeico (ESCRICHE et al., 2011). Os méis cítricos são produzidos em vários países tais como Brasil, Espanha, Itália, Grécia, Turquia, Chipre, Líbano, Egito, Líbia, Tunísia, Argélia e Marrocos (RICCIARDELLI D'ALBORE, 1998; TERRAB; DÍEZ; HEREDIA, 2003).

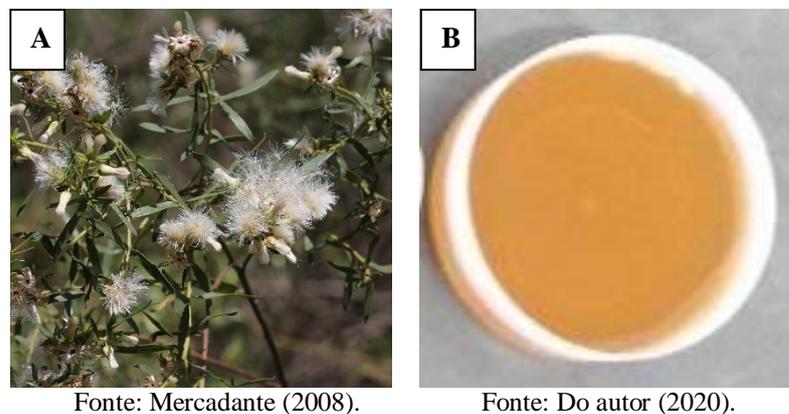
Figura 4 – Flores (A) e mel (B) de laranjeira.



- Mel de vassourinha

*Baccharis dracunculifolia* DC., é conhecida como “vassourinha” ou “alecrim do campo” (BUDEL et al., 2004) é uma planta nativa brasileira amplamente distribuída nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Sua floração (FIGURA 5A) ocorre entre maio a julho, sendo uma fonte botânica para a produção de mel (FIGURA 5B) e este se caracteriza por apresentar sabor suave e coloração clara (PARK et al., 2004; SFORCIN et al., 2012).

Figura 5 – Flores (A) e mel (B) de vassourinha.



- Mel silvestre

Além dos méis monoflorais há os multiflorais, também denominado mel silvestre (FIGURA 6), estes são produzidos a partir de diversas espécies de plantas, na qual não se realçam características específicas de uma determinada planta, apresentando propriedades variadas conforme a espécie de abelha envolvida, florada e fatores climáticos. O mel silvestre se destaca por sua maior disponibilidade no mercado, pois este pasto apícola é oferecido às abelhas durante o ano todo (BOFFO et al., 2012; BRASIL, 2000).

Figura 6 – Mel silvestre.



Fonte: Do autor (2020).

### 2.2.2 Mel extrafloral

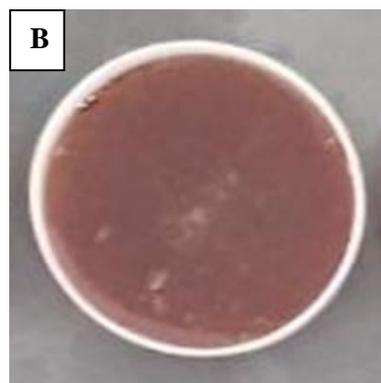
No Brasil, há ainda o mel extrafloral, denominado de mel de cana-de-açúcar (FIGURA 7B), que apresenta coloração escura, com elevado teor de sacarose e é elaborado pelas abelhas a partir da colheita da seiva de açúcar que brota do bagaço da cana-de-açúcar (FIGURA 7A) após o corte, depositando-os nas colmeias de maneira semelhante ao néctar floral (BARTH, 2004).

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das atividades agrícolas mais importantes do Brasil, sendo utilizadas principalmente para a produção de etanol, açúcar e produtos derivados, tais como melado e suco (SAMPAIO et al., 2012).

Figura 7 – Abelhas no bagaço da cana-de-açúcar (A) e mel de cana-de-açúcar (B).



Fonte: Dreamstime (2020).



Fonte: Do autor (2020).

### 2.2.3 Méis de melato

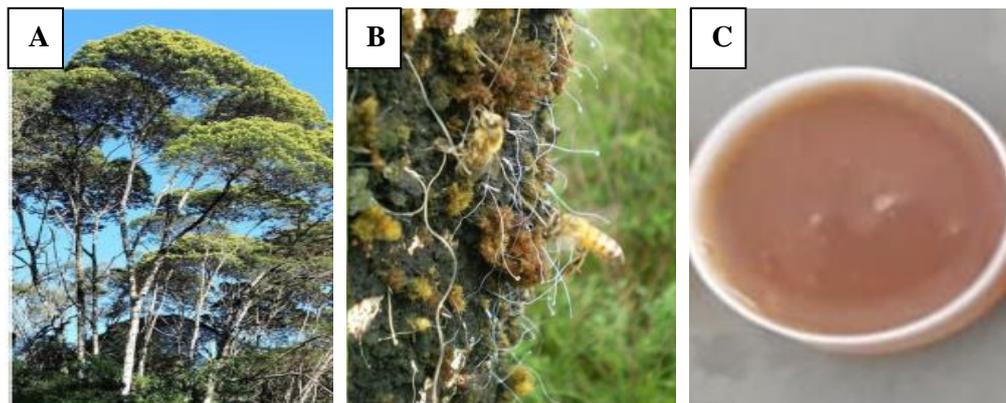
O mel de melato é considerado um produto alimentício muito peculiar, uma vez que é produzido por abelhas *Apis mellifera* a partir de secreções de partes vivas das plantas ou de excreções que são liberadas por insetos sugadores (*Tachardiella* sp. e *Stigmacocus*) que se

reproduzem nas árvores tal como a de bracatinga (FIGURA 8A) e usam o seu floema como alimento (MAZUCHOWSKI; RECH; TORESAN, 2014; WOLFF; WITTER; LISBOA, 2015). Estes insetos perfuram partes da planta, se alimentam da seiva e em seguida excretam o excesso de gotículas de melato que são então, recolhidos pelas abelhas (FIGURA 8B) (BRASIL, 2000; CODEX ALIMENTARIUS, 2011).

Os méis de melato (FIGURA 8C) apresentam características específicas, tais como sabor e odor forte, com coloração mais escura quando comparado aos méis florais, apresentando variação do castanho claro/esverdeado a uma tonalidade mais voltada para o preto, sendo a cor dependente da maturação e melato utilizado (LACHMAN et al., 2007).

No Brasil, há a produção de mel obtida da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) e quase toda a sua produção é exportada. As regiões de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, possuem ocorrência natural deste cultivar, sendo propício para a produção deste tipo de mel. O mel de melato de bracatinga é considerado um produto peculiar de agregado valor, visto que a liberação de excreções e, conseqüentemente, a obtenção deste mel acontece a cada dois anos, que é o período que corresponde ao ciclo de vida dos insetos sugadores de plantas, e geralmente isso ocorre entre os meses de janeiro a junho (AZEVEDO et al., 2017; BERGAMO et al., 2018; MAZUCHOWSKI; RECH; TORESAN, 2014).

Figura 8 – Espécies de *Mimosa scabrella* Bentham (A), abelhas coletando melato de bracatinga (B) e mel de melato de bracatinga (C).



Fonte: Azevedo et al. (2017).

Fonte: Do autor (2020).

### 2.3 Apicultura no Brasil e em Minas Gerais

No ano de 2017 a produção mundial de mel foi de aproximadamente 1861 mil t e a China foi o maior produtor, sendo responsável por 29% da produção total, seguido da União Europeia (12%), Turquia (6%) e Argentina (4%). O Brasil atingiu a 12ª posição no *ranking* mundial, produzindo aproximadamente 42,0 mil t (FAO, 2019).

A apicultura é uma das poucas atividades agropecuárias que não agride o meio ambiente e teve impulso no Brasil como atividade comercial somente a partir da década de 70, embora ocorresse por processos extrativistas. Dentro do cenário apícola internacional, o Brasil apresenta uma produção variada, uma vez que possui flora diferenciada e diversidade climática, o que caracteriza os méis com propriedades sensoriais predominantes (CBA, 2011).

No Brasil, levantamentos apontam que o consumo *per capita* anual de mel é de 60 a 300 g, bem abaixo de alguns países da Europa, onde o volume chega a 1500 g (ABEMEL, 2015). O Brasil apresenta potencial apícola porém como relatado anteriormente o consumo *per capita* de mel pelos brasileiros ainda é baixo, o que demonstra que é necessário desenvolver ações que busquem gerar estratégias de marketing para ressaltar os benefícios para a saúde obtidos quando se consome mel, visto que estão relacionados principalmente aos seus efeitos antioxidantes e antimicrobianos (CHEUNG; GERBER, 2009; OSÉS et al., 2016; PASIN; TERESO; BARRETO, 2012). Além disso, é necessário melhorar a cadeia produtiva visando a produção, qualidade e preço do produto (CARRER et al., 2010).

No Brasil, a apicultura é praticada em quase todos os estados brasileiros, com produção de mel, própolis, geleia real e cera de abelha (BALBINO; BINOTTO; SIQUEIRA, 2015). No ano de 2016, o estado de Minas Gerais, foi o terceiro maior produtor de mel do país, ficando atrás somente dos produtores do Rio Grande do Sul e Paraná, obtendo uma produção de 4,9 mil t, sendo que, sua participação na produção nacional cresceu de 10% para 12,39%, entre 2002 e 2016, se tornando destaque no agronegócio (IBGE, 2016).

Minas Gerais é dividida em 10 mesorregiões (Norte de Minas, Jequitinhonha/Mucuri, Rio Doce, Zona da Mata, Sul de Minas, Centro-Oeste, Central, Noroeste de Minas, Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro), no qual a produção de mel ocorre em todo o estado. A região central, Norte de Minas, Rio Doce, Centro-Oeste e Sul de Minas são os maiores produtores (SEAPAS, 2015). Neste cenário, uma variedade de amostras de mel com diferentes características e composições é identificada em todo território (BRASIL, 2016; IBGE, 2016; MARQUELE-OLIVEIRA et al., 2017).

Todo o estado de Minas Gerais é favorável para o desenvolvimento da apicultura em consórcio com diversas culturas agrícolas, e a polinização das abelhas é assim beneficiada com a diversidade do território mineiro (FEMAP, 2011). Os méis produzidos em Minas Gerais, são exportados principalmente para os Estados Unidos (72,6%), Japão (17,0%), Bélgica (6,4), Alemanha (3,3%), França (0,3%) e demais países (0,4) (BRASIL, 2016; IBGE, 2016). Embora Minas Gerais produza alta quantidade de mel, este não é o principal produto agropecuário do estado. Para que o estado de Minas Gerais torne-se o maior produtor de mel do Brasil algumas

ações devem ser promovidas, tais como valorização do produto com aumento da produção, exploração geográfica, estímulo a rastreabilidade do produto, além de difundir Normas Técnicas (FEMAP, 2011).

#### **2.4 Produção do mel**

O mel sofre várias transformações químicas até sua formação. A abelha coletora, ao chegar na colmeia, carrega na sua vesícula melífera, o néctar coletado já diluído com a saliva contendo secreções, principalmente de glândulas hipofaríngeas, que possuem enzimas tais como a invertase ( $\alpha$ -glicosídeses), diastase ( $\alpha$  e  $\beta$ -amilases) e glicose-oxidase, sendo que são de grande importância para a elaboração do mel, uma vez que auxiliam na sua maturação (EMBRAPA, 2003; SANCHEZ et al., 2001; SOUZA, 2007).

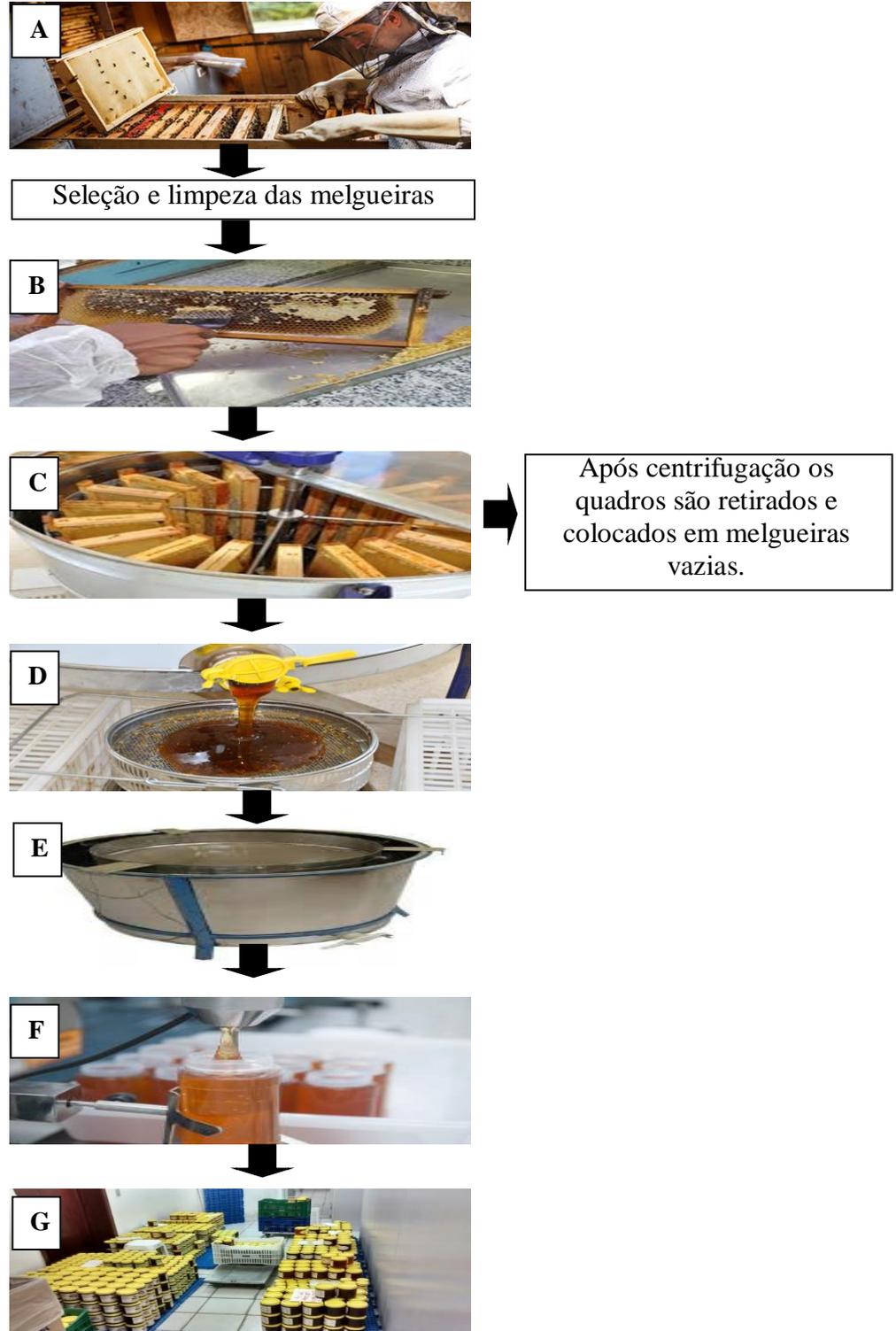
A invertase é responsável por converter a sacarose em glicose e frutose, e a 30 °C (temperatura dos favos de mel da colmeia) produz uma solução concentrada de açúcares monossacarídeos, que são mais solúveis que a sacarose. Já a enzima diastase apresenta melhor resistência ao calor, possuindo um papel importante para a avaliação da qualidade do produto em relação à eficácia do processamento e armazenamento (AHMED et al., 2013; MACHADO DE-MELO et al., 2017; YÜCEL; SULTANOGLU, 2013). A glicose-oxidase forma a partir da glicose, o ácido glicônico e o peróxido de hidrogênio, compostos estes que evitam que o mel se decomponha por ação bacteriana, até que o teor de água seja baixo para prevenir esse processo (CRANE, 1987; U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1980 apud VANELLE, 2016).

Após as enzimas serem secretadas pelas glândulas salivares das abelhas, as abelhas coletoras fazem a transferência do néctar para as abelhas caseiras, que são responsáveis pelo curso da carga do néctar na colmeia. Essas abelhas manipulam o néctar, permitindo novamente o contato com as enzimas, reduzindo o conteúdo de água do mel. Ao atingir 17-20% de água, a operculação do alvéolo por uma camada de cera ocorrerá, prevenindo a absorção de água pelo mel, evitando o risco de ocorrer a fermentação (AL-QASSEMI; ROBINSON, 2003; CRANE, 1987; DONER, 1977; SEELEY, 1989). Ao se obter mais do que 75% de alvéolos operculados, o favo pode ser coletado da colmeia, evitando problemas tais como umidade excessiva, contaminação microbológica ou alteração organoléptica (WIESE, 2000).

No Brasil, o mel deve ser processado em local específico, denominado “casa do mel”, este é o local onde existe todo o ambiente apropriado e normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2008), no qual foi desenvolvido especialmente para esta finalidade. O processo de extração do mel é simples, porém é durante este procedimento que

ocorre a maioria das contaminações do produto (TOSI et al., 2002). As etapas do processamento do mel são ilustradas na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma geral de processamento de mel.



\*A- Recepção das melgueiras; B- Desoperculação; C- Centrifugação; D- 1ª filtragem; E- 2ª filtragem; F- Envase; G- Armazenamento. Fonte: (A) Costa (2020); (B) Embrapa (2016); (C e D) Domingues (2012); (E) Casf (2020); (F) Kiffer (2015); (G) Koch (2015).

As melgueiras (FIGURA 9A) que foram coletadas no campo devem ser colocadas na área de recepção em estrados limpos, utilizados apenas para esse fim, e devem ser de preferência de PVC (Policloreto de vinila). Os quadros devem ser selecionados de preferência quando ainda estiverem no campo, porém sua limpeza (retirada de abelhas aderidas ao quadro, pedaços de cera irregulares, entre outros) deve ser realizada na sala de recepção. Após a limpeza dos quadros, estes devem ser transferidos para a mesa desoperculadora. A desoperculação (FIGURA 9B) consiste na retirada do opérculo (fina camada de cera que recobre os alvéolos) da superfície dos favos, utilizando-se facas ou garfos desoperculadores. O opérculo é um dos indicativos de que o mel está maduro e pronto para a colheita. Após esta etapa os quadros são transferidos manualmente para a centrífuga (FIGURA 9C), que objetiva retirar o mel dos favos (CAMARGO et al., 2003; CCP, 2014; WOLFF, 2018).

O mel obtido pela centrifugação é recolhido em balde de aço inox através de uma torneira que se encontra na parte inferior da centrífuga. O balde contém uma peneira acoplada, onde a medida que o mel sai da centrífuga ele recebe a primeira filtração (FIGURA 9D). Os quadros que estavam na centrífuga são retirados manualmente e colocados em melgueiras vazias para serem novamente levados ao campo (CAMARGO et al., 2003; CCP, 2014; WOLFF, 2018).

Em seguida, o mel é depositado manualmente em decantador que possui uma peneira na sua parte superior, para que o mel centrifugado passe novamente por uma filtragem (FIGURA 9E). No decantador o mel deve permanecer por no mínimo 72 horas, para retirada de bolhas formadas durante a centrifugação e possíveis partículas que ainda estiverem no mel. Posteriormente o mel deve ser envasado (FIGURA 9F) em baldes a granel de 25 kg ou em embalagens fracionadas de 200 g, 500 g ou 1 kg, e em seguida são armazenados (FIGURA 9G) (CAMARGO et al., 2003; CCP, 2014; PEREIRA et al., 2003; WOLFF, 2018).

## **2.5 Parâmetros de qualidade**

A qualidade do mel é influenciada desde a colheita até o processamento e armazenamento do produto final. Após a colheita, o mel continua sofrendo alterações, por isso todas as etapas que envolvem o processamento do mel devem ser controladas a fim de se produzir um produto de alta qualidade (ARAÚJO; SILVA; SOUSA, 2006; GOIS et al., 2013).

Antes da comercialização, o mel deve atender os numerosos critérios de qualidade e certificações. Deve ser levado em consideração os parâmetros físico-químicos e microbiológicos que são estabelecidos pelos órgãos responsáveis por garantir a segurança dos alimentos, agregando valor ao produto além de caracterizá-lo. O regulamento técnico de

identidade e qualidade do mel (BRASIL, 2000) e o Codex Alimentarius (2001) definem os parâmetros de qualidade utilizados para atestar a pureza do mel (TABELA 2).

Tabela 2 – Requisitos mínimos de qualidade do mel.

<b>Características físico-químicas</b>	<b>Legislação</b>
Umidade <sup>1</sup>	≤ 20%
Cinzas <sup>2</sup>	≤ 0,60%
Condutividade elétrica <sup>3</sup>	≤ 800 μS/cm
Acidez livre <sup>1</sup>	≤ 50 meq/kg
Açúcar redutor total <sup>1</sup>	≥ 65%
Sacarose <sup>1</sup>	≤ 5-6%
Hidroximetilfurfural <sup>1</sup>	≤ 60 mg/kg
Atividade diastásica <sup>1</sup>	≥ 8°Göthe

Fonte: <sup>1</sup>Brasil (2000) e Codex Alimentarius (2001); <sup>2</sup>Brasil (2000); <sup>3</sup>Codex Alimentarius (2001).

Apesar do aumento da produção de mel, o produto ainda apresenta limitada disponibilidade e custo relativamente elevado (PUSCAS; HOSU; CIMPOIU, 2013; YILMAZ et al., 2014; ZHU et al., 2010), e de acordo com o Codex Alimentarius (2001) para se obter um mel de qualidade, não é permitido a adição de ingredientes e aditivos alimentares ao produto, não deve ser absorvido sabor e aroma estranhos durante seu processamento e armazenamento, não deve ter começado a fermentar, efervescer ou ocorrer outras modificações que alterem sua composição ou qualidade.

A quantificação detalhada das características físico-químicas do mel, pode ser obtido por meio da realização das análises de umidade, HMF (hidroximetilfurfural), atividade diastásica, açúcares redutores, sacarose, cinzas, acidez e sólidos solúveis. Estas análises são recomendadas pela legislação brasileira (BRASIL, 2000) e internacional (CODEX ALIMENTARIUS, 2001) sendo de grande importância para a determinação da qualidade, classificação e aceitabilidade do mel.

Em relação ao conteúdo de água no mel, a legislação brasileira determina um limite máximo de 20%, sendo que normalmente varia entre 16-18%. O teor de umidade assim como a atividade de água são fatores de grande influência na manutenção de sua qualidade durante o seu armazenamento (ABU-JDAYIL et al., 2002, BRASIL, 2000, LAZARIDOU et al., 2004). No mel, a água que se encontra presente possui alta interação com as moléculas dos açúcares, reduzindo a disponibilidade das moléculas de água para o desenvolvimento microbológico (ABRAMOVIC et al., 2008).

Dentre as enzimas que estão presentes no mel, a diastase apresenta melhor resistência ao calor, possuindo um papel importante para a avaliação da qualidade do produto em relação à eficácia do processamento e armazenamento. Sua atividade é utilizada como indicativo do grau de conservação e superaquecimento do mel. Uma redução ou ausência desta enzima, indica que houve superaquecimento do mel (acima de 60 °C) durante a produção ou condições inadequadas de armazenamento (AHMED et al., 2013; BRASIL, 2000; MACHADO DE-MELO et al., 2017; YÜCEL; SULTANOGLU, 2013).

Em méis, a realização de superaquecimento é prejudicial a qualidade do produto e resulta na formação do 5-hidroxiacetilfurfural (5-HMF), podendo ser formado quando o mel sofre tratamento térmico ou prolongado período de armazenamento, o que o torna volátil e tóxico dependendo da sua concentração. A composição, condições de processamento e estocagem dos méis influenciam na cinética de formação do HMF (NAYIK; DAR; NANDA, 2015; TORNUK et al., 2013; TURHAN et al., 2008).

A quantificação da sacarose é um importante parâmetro de qualidade do mel, sendo indicador de maturidade e pureza, visto que um teor de sacarose elevado pode indicar adulteração do mel ou colheita prematura (KÜÇÜK et al., 2007). A determinação do teor de cinzas também é utilizada para se avaliar a qualidade do mel, onde níveis dentro da faixa permitida pela legislação (TABELA 2) vigente evidenciam sua riqueza em matéria mineral, no entanto níveis acima da legislação indicam poluição ambiental, sendo assim, o resultado desta análise é influenciado pela origem geográfica das espécies de onde o néctar ou melato foram coletados (KARABAGIAS et al., 2014).

Em relação a análise de pH a legislação ainda não estabeleceu limites, porém diversos estudos relatam que o pH do mel situa-se entre 3,2-4,5, sendo a acidez do mel capaz de ter efeito antimicrobiano (BANDEIRA et al., 2018; KARABAGIAS et al., 2014; SILVA et al., 2016). A análise de acidez é realizada em méis, com a finalidade de se obter informações sobre o estado de conservação do produto, pois com a ocorrência de decomposição, a concentração de íons de hidrogênio geralmente é alterada (ZENEON et al., 2008). De acordo com Bogdanov, Ruoff e Oddo (2004) todos os méis são caracterizados como ácidos, devido à presença de ácidos orgânicos, sendo úteis para combater os microrganismos, além de contribuir para seu sabor e estabilidade do produto.

## **2.6 Parâmetros sensoriais**

A análise sensorial é uma ferramenta importante para a avaliação da qualidade dos alimentos (MARCAZZAN et al., 2017). As características sensoriais dos alimentos fornecem

reações de desejo ou rejeição e conseqüentemente definem se o consumidor irá aceitar ou não determinado produto (ARAÚJO et al., 2006).

Os méis apresentam variação quanto ao sabor, aroma, cor e consistência, sendo influenciados principalmente devido a sua origem botânica (BOGDANOV et al., 2008). De acordo com a legislação vigente (BRASIL, 2000), o mel pode apresentar cor variável de quase incolor a pardo-escuro de acordo com sua origem; o sabor e aroma devem ser característicos de acordo com a sua origem; e a consistência é variável de acordo com a composição e estado físico.

A análise sensorial aplicada ao mel é importante para reconhecer alguns defeitos presente nas amostras, como fermentação, presença de impurezas, odores de fumaça, sabor metálico, além de outras características que as análises comuns de rotina de laboratório muitas vezes não conseguem detectar (MARCAZZAN et al., 2017).

Nos méis, a cor é um dos primeiros critérios sensoriais adotados pelos consumidores no momento da compra e em muitos países, o preço está relacionado a este parâmetro (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2018). O aroma e o sabor se encontram relacionados entre si e são influenciados principalmente pela sua origem botânica. O aroma do mel também depende da quantidade e tipo de ácidos e aminoácidos presentes. Méis que possuem aroma e sabor mais acentuado/forte geralmente apresentam cor mais escura (BOGDANOV et al., 2008; BOGDANOV; RUOFF; PERSANO ODDO, 2007; VENTURINI; SARCINELLI; SILVA, 2007). O sabor do mel é um atributo que irá definir sua aplicação na indústria e também um critério de seleção para a escolha do consumidor. O principal composto construtor do sabor é o açúcar e geralmente os méis com um teor mais elevado de frutose são mais doces em comparação com aqueles que possuem alta concentração de glicose (BOGDANOV et al., 2008).

Dentre os parâmetros sensoriais avaliados pelos provadores há também o atributo consistência, que é conferido pela sua viscosidade, apresentando grande importância comercial e industrial, uma vez que o consumidor avalia um mel de boa qualidade quando este se apresenta na forma fluida, visto que o mel pode variar de líquido a cremoso, com cristalização parcial ou total (SILVA et al., 2010).

## **2.7 Armazenamento e cristalização do mel**

A cristalização, é um processo natural que acontece de maneira espontânea. No mel, inicialmente ocorre a cristalização da glicose, que tem menor solubilidade, em concentração acima da supersaturação. É um fenômeno de transferência de massa que gera a formação de uma interface sólido-líquido resultando em uma contribuição positiva para a energia livre da

nucleação (ESCUREDO et al., 2013; MARANGONI; WESDORP, 2013). O processo de cristalização e o tamanho dos cristais no mel varia de acordo com o teor de água na sua composição, concentração de açúcar, bem como a temperatura em que o produto foi exposto (CONFORTI et al., 2006).

Apesar da cristalização geralmente ser indesejada no mel líquido, a cristalização controlada pode ser desejável para a produção de mel cremoso, na qual há formação de um grande número de cristais de açúcares muito pequenos e finos que não são percebidos pelo paladar e apresenta características sensoriais desejadas (BRASIL, 2000; KARASU et al., 2015). Entretanto, a cristalização pode ocorrer de maneira descontrolada durante a estocagem, podendo ocasionar uma cristalização desuniforme, fazendo com que esse processo seja indesejável, pois o produto torna-se menos atrativo ao consumidor, pois a maioria prefere o mel no estado líquido e/ou transparente (AJLOUNI; SUJIRAPINYOKUL, 2009; KABBANI; SEPULCRE; WEDEKIND, 2011; SAXENA; GAUTAM; SHARMA, 2010).

A cristalização também pode ocasionar alguns problemas para a indústria, pois com a alteração da textura do mel ocorre dificuldade de manipulação, fracionamento e envase do produto, além de comprometer o funcionamento correto dos equipamentos, tais como os dosadores e máquina de envase. As máquinas podem não funcionar adequadamente devido à alta viscosidade, 'aderência' e complexidade do fluido (KABBANI; SEPULCRE; WEDEKIND, 2011; TOSI et al., 2002, 2004).

Quase todos os tipos de mel cristalizam, porém o período de início irá variar de acordo com os diferentes tipos, sendo a origem (botânica e geográfica) um dos fatores que mais influenciam na taxa de cristalização e segundo Zamora e Chirife (2006) e Venir, Spaziani e Maltini (2010) a taxa de cristalização do mel é máxima entre 10 e 15 °C, quando o efeito da supersaturação é mais dominante que o efeito da viscosidade. A taxa de cristalização depende da difusividade da glicose (composto que cristaliza quando em condições de supersaturação) que depende da viscosidade do mel, assim como da solubilidade da saturação. Em temperaturas abaixo de 10 °C, a cristalização é mais lenta, pois, apesar da diminuição da solubilidade do açúcar (favorecendo a granulação), ocorre um aumento da viscosidade do mel, reduzindo a difusão da glicose e dificultando a taxa de cristalização (JE'ANNE, 1991; LUPANO, 1997; MACHADO DE-MELO et al., 2017). A taxa de cristalização diminui acima de 15 °C (BOGDANOV, 2011; JE'ANNE, 1991) e acima de 30 °C, a cristalização do mel é desfavorecida, pois com a elevação da temperatura gera o aumento da solubilidade da glicose, diminuindo o nível de supersaturação (BHANDARI; D'ARCY; CHOW, 1999), enquanto que

ao reduzir a temperatura (abaixo de 10 °C), a viscosidade aumenta limitando a mobilidade molecular (AL-HABSI; DAVIS; NIRANJAN, 2013; JE´ANNE, 1991; LUPANO, 1997).

De acordo com Gleiter et al. (2006) e Laos et al. (2011) o tempo necessário para que ocorra a cristalização do mel depende principalmente da proporção de frutose para glicose (F/G). A razão F/G é recomendada para explicar a granulação do mel, visto que a glicose é menos solúvel em água que a frutose, sendo um parâmetro importante para prever a tendência de cristalização do mel (LAOS et al., 2011). Segundo Tosi et al. (2004) a razão  $F/G \leq 1,14$  indica cristalização rápida, enquanto valores  $>1,58$  estão associados a nenhuma tendência de cristalização, no entanto, de acordo com Dettori et al. (2018), valores  $<1,11$  indica cristalização rápida, entre 1,11 e 1,33 cristalização média e  $>1,33$  cristalização lenta ou ausência de cristalização, sendo que em ambos os trabalhos a quantidade de frutose e glicose no mel, foram determinados através da análise de HPLC (High performance liquid chromatography).

Além da razão F/G, também a relação G/U (glicose/umidade) é citada por Dobre et al. (2013) como um melhor indicador para a previsão de cristalização do mel e ainda de acordo com estes autores a cristalização é lenta quando a razão G/U é menor que 1,7.

Zaizuliana et al. (2017), avaliaram o efeito das condições de armazenamento no comportamento de cristalização de méis da Malásia, armazenados por 180 dias e concluíram que os méis de Gelam e Hutan apresentaram maior tendência a cristalizar, visto que exibiram níveis mais elevados de glicose (33,93 e 33,49%, respectivamente), com relação F/G  $<1,14$  (0,89 e 0,95, respectivamente) o que indica início de cristalização mais rápida. Sendo que este fato foi consistente com o estudo, uma vez que a formação de cristais nestes méis foi maior em comparação aos outros méis analisados.

Uma forma de avaliar os cristais de mel, citada por Venir, Spaziani e Maltini (2010) é a microscopia óptica, na qual utilizaram o microscópio óptico com um aumento de 40x para analisarem os cristais, e estes autores também avaliaram a cinética de cristalização do mel, utilizando o DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial).

No mel as moléculas de água encontram-se ligadas aos açúcares, principalmente por pontes de hidrogênio. No mel líquido, a glicose encontra-se ligada a cinco moléculas de água, enquanto que, no mel cristalizado, a glicose encontra-se ligada a apenas uma dessas moléculas, sendo que as outras que foram liberadas aumentam a atividade de água, podendo atingir valores que possibilitem o crescimento de microrganismos osmofílicos (KUROISHI et al., 2012).

As análises de microscopia, absorvância, coloração, análise sensorial, entre outras, podem ser utilizadas como indicadoras da cristalização (CONFORTI et al., 2006; COSTA et al., 2015; DETTORI et al., 2018). Para os apicultores e indústrias, a cristalização do mel é uma

questão de grande interesse, uma vez que cada tipo de mel cristaliza, pela influência de diferentes fatores (temperatura, composição, origem botânica, entre outros), uns mais lentamente e outros mais rapidamente. Além disso, os cristais formados durante a cristalização podem ser finos ou grandes, assim essas propriedades influenciam a manipulação para os consumidores e processadores (YAO et al., 2003).

### **3 CONCLUSÃO GERAL**

O Brasil possui grande potencial para a produção de mel, uma vez que possui flora diversificada, variação climática e ampla extensão territorial, o que possibilita sua produção ao longo do ano, com diferentes composições e características. Todos os estados do Brasil produzem mel, mas Minas Gerais, é o terceiro maior produtor do país, o estado possui vegetação nativa e condições climáticas que permitem a produção de mel de alta qualidade, o que tem tornado a apicultura destaque no agronegócio.

Existe uma variedade de amostras de mel com diferentes características e composições em todo território brasileiro, sendo que a origem (botânica e geográfica) e a composição dos méis, em especial a concentração de açúcares (frutose e glicose), são alguns dos fatores que mais influenciam na taxa de cristalização e fazem com que os méis apresentem um comportamento distinto durante o armazenamento.

A temperatura de armazenamento também influencia na cristalização do mel, devido o efeito na solubilidade dos açúcares e na viscosidade do mel. Uma diminuição da temperatura eleva a supersaturação do açúcar e a viscosidade do mel, sendo que, o aumento da supersaturação favorece a cristalização, enquanto que, a elevação da viscosidade, tem efeito contrário neste processo. Segundo diversos autores a taxa de cristalização do mel é máxima entre 10 e 15 °C e nesta faixa de temperatura o efeito da supersaturação prevalece sob o efeito da viscosidade, favorecendo a cristalização, sendo que acima e abaixo dessa faixa de temperatura, tem-se taxas de cristalização menores. O conhecimento do comportamento de cristalização do mel obtido a partir de diversas fontes é de grande importância e interesse para a indústria, apicultores e consumidores.

## REFERÊNCIAS

- ABEMEL. Associação brasileira dos exportadores de mel. **Brasil sobe no ranking e é o 8º maior exportador de mel. 2015**. Disponível em: <<http://brazilltetsbee.com.br/noticia.aspx?id=108>>. Acesso em: 15 set. de 2019.
- ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 15585: Apicultura sistema de produção no campo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 8 p.
- ABRAF. Associação Brasileira de Produtoras de Florestas Plantadas. 2012. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Disponível em: <<https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- ABRAMOVIC, H. et al. Water activity and water content in Slovenian honeys. **Food Control**, Guildford, v. 19, n. 11, p. 1086-1090, Nov. 2008.
- ABU-JDAYIL, B. et al. Heat effect on rheology of light – and dark- colored honey. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 51, n. 1, p. 33-38, Jan. 2002.
- AHMED, M. et al. In vitro activity of natural honey alone and in combination with curcuma starch against *Rhodotorula mucilaginosa* in correlation with bioactive compounds and diastase activity. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, China, v. 3, p. 816–821, Oct. 2013.
- AJLOUNI, S.; SUJIRAPINYOKUL, P. Hydroxymethylfurfuraldehyde and amylase contents in Australian honey. **Food Chemistry**, London, v. 119, n. 3, p. 1000–1005, 2009.
- AL-HABSI, N. A.; DAVIS, F. J.; NIRANJAN, K. Development of Novel Methods to Determine Crystalline Glucose Content of Honey Based on DSC, HPLC, and Viscosity Measurements, and Their Use to Examine the Setting Propensity of Honey. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 6, 2013.
- ALMEIDA FILHO, J. P. et al. Estudo físico-químico e de qualidade do mel de abelha comercializado no município de Pombal - Pb. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 6, n. 3, p. 83–90, jul./set. 2011.
- AL-QASSEMI, R.; ROBINSON, R. K. Some special nutritional properties of honey-a review. **Nutrition & Food Science**, Bingley, v. 33, n. 6, p. 254-260, Dec. 2003.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M. et al. *Apis mellifera* vs *Melipona beecheii* Cuban polyfloral honeys: a comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 87, p. 272–279, Jan. 2018.
- ALVES, V.; NEVES, L. Anatomia foliar de *Vernonia polyanthes* Less (Asteraceae). **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 1-8, 2003.

ARAÚJO, D. R.; SILVA, R. H. D.; SOUSA, J. S. Avaliação da qualidade físico química do mel comercializado na cidade de Crato - CE. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, São Cristóvão, v. 6, n. 1, p. 51-55, 2006.

ARVANITOYANNIS, I.; KRYSTALLIS, A. An empirical examination of the determinants of honey consumption in Romania. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, n. 10, p. 1164-1176, Dec. 2006.

AZEVEDO, M. S. et al. Free amino acid determination by GC-MS combined with a chemometric approach for geographical classification of bracatinga honeydew honey (*Mimosa scabrella* Bentham). **Food Control**, Guildford, v. 78, p. 383-392, Aug. 2017.

BALBINO, V. A.; BINOTTO, E.; SIQUEIRA, E. S. Apicultura e responsabilidade social: desafios da produção e dificuldades em adotar práticas social e ambientalmente responsáveis. **REAd**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, May-Aug., 2015

BANDEIRA, A. M. P. et al. Antioxidant activity and physicochemical characteristics of honeys from the eastern Amazon region, Brazil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 48, n. 2, p. 158-167, April, 2018.

BARBOSA, L. C. A.; FILOMENO, C. A.; TEIXEIRA, R. R. Chemical variability and biological activities of *Eucalyptus* spp. essential oils. **Molecules**, Basel, v. 21, n. 12, p. 1671, Dec. 2016.

BARREIROS, R. C. Adoçantes nutritivos e não-nutritivos. **Revista da Faculdade de Ciências Médicas**, Sorocaba, v. 14, n. 1, p. 5 -7, 2012.

BARTH, O. M. Melissopalynology in Brazil: a review of pollen analysis of honeys, propolis and pollen loads of bees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 3, p. 342-350, May/June 2004.

BASTOS, E. M. A. F.; SILVEIRA, V. M.; SOARES, A. E. E. Pollen spectrum of honey produced in cerrado areas of Minas Gerais state (Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 63, n. 4, pp. 599-615, Nov. 2003.

BERGAMO, G. et al. Physicochemical characteristics of bracatinga honeydew honey and blossom honey produced in the state of Santa Catarina: an approach to honey differentiation. **Food Research International**, Barking, v. 116, p. 745-754, Feb. 2018.

BETTAR, I. et al. Characterization of Moroccan Spurge (*Euphorbia*) honeys by their physicochemical characteristics, mineral contents and colour. **Arabian Journal of Chemistry**, Saudi Arabia, Jan. 2015. doi:10.1016/j.arabjc.2015.01.003

BHANDARI, B. R.; D'ARCY, B.; CHOW, S. Rheology of selected Australian honeys. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 41, n. 1, p. 65-68, July 1999.

BILSEL, Y. et al. Could honey have a place in colitis therapy? Effects of honey, prednisolone, and disulfiram on inflammation, nitric oxide, and free radical formation. **Digestive Surgery**, Switzerland, v. 19, p. 306-311, Jan. 2002.

BOFFO, E. F. et al. Identification of components of Brazilian honey by <sup>1</sup>H NMR and classification of its botanical origin by chemometric methods. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 49, n. 1, p. 55–63, Nov. 2012.

BOGDANOV, S. et al. Honey for nutrition and health: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, Clearwater, v. 27, n. 6, p. 677-689, Dec. 2008.

BOGDANOV, S.; RUOFF, K.; PERSANO ODDO, L. Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. **Apidologie**, Les Ulis, v. 35, p. S4–S17, June 2007.

BOGDANOV, S.; RUOFF, K.; ODDO, L. P. Physico-chemical methods for the characterization of unifloral honeys: a review. **Apidologie**, Les Ulis, v. 35, n. 1, p. 4-17, June 2004.

BOGDANOV, S. Honey technology. In: BOGDANOV, S. (Ed.). **The honey book**. 2011. p. 15–18. Disponível em: <<http://www.bee-hexagon.net/honey/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 11, de 20 de outubro de 2000. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 out. 2000. Disponível em: <<http://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/IN-11-de-2000.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2016. ALICEWEB, Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior da Secretaria de Comércio Exterior. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/>>. Acesso em: 09 out. 2019.

BUDEL, J. M. et al. Morfoanatomia foliar e caulinar de *Baccharis dracunculifolia* DC., Asteraceae. **Acta Farmacéutica Bonaerense**, Buenos Aires, v. 23, n. 4, p. 477-83, Jan. 2004.

CAMARGO, R. C. R. et al. **Boas Práticas na colheita, extração e beneficiamento do mel**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2003. 28 p.

CAN, Z. et al. An investigation of Turkish honeys: their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. **Food Chemistry**, London, v. 180, n. 1, p. 133-141, Aug. 2015.

CARRER, C. C. et al. Diagnóstico de mercado junto a consumidores de mel no município de Pirassununga, estado de São Paulo. **Revista de Informações Econômicas**, São Paulo, v. 40, n. 5, p. 5-14, jan. 2010.

CASF. **Tambor litros torneira**. 2020. Disponível em: <<https://www.clasf.com.br/q/tambor-litros-torneira/>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

CBA. Confederação brasileira de apicultura. **Brasil Apícola**. 2011. Disponível em: <<http://www.brasilapicola.com.br/brasil-apicola>>. Acesso em: 11 set. 2019.

CCP. Centros comunitários de produção, 2014. **Processamento de mel: uso produtivo e eficiência da energia elétrica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014. 75 p.

CHEUNG, T. L.; GERBER, R. M. Consumo de mel de abelhas: análise dos comportamentos de comensais do estado de Santa Catarina. **Revista de Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 22-31, out. 2009.

CODEX ALIMENTARIUS. **CODEX Standard for Honey - Codex Stan 12-1981**. 2001. Disponível em: <[http://www.fao.org/input/download/standards/310/cxs\\_012e.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/310/cxs_012e.pdf)>. Acesso em: 5 out. 2019.

CONFORTI, P. A. et al. Crystallization of honey at -20°C. **International Journal of Food Properties**, Philadelphia, v. 9, n. 1, p. 99-107, June 2006.

CONSONNI, R.; CAGLIANI, L. R.; COGLIATI, C. Geographical discrimination of honeys by saccharides analysis. **Food control**, Guildford, v. 32, n. 2, p. 543-548, Aug. 2013.

COSTA, P. S. V. **Curso profissionalizando de apicultor**. 2020. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-profissionalizantes-a-distancia/apicultor>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

COSTA, L. C. V. et al. Influence of temperature and homogenization on honey crystallization. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 18, n. 2, Apr./June 2015.

CRANE, E. **O livro do mel**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1987. 228 p.

DELPHINE, D. et al. Spectrum of melliferous plants used by *Apis mellifera adansonii* in the Sudano-Guinean western highlands of Cameroon. **Grana**, Oslo, v. 46, n. 2, p. 123-128, June 2007.

DETTORI, A. et al. Kinetic of induced honey crystallization and related evolution of structural and physical properties. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 95, p. 333-338, Apr. 2018.

DEWEY, K. G. **Approaches for improving complementary feeding of infants and young children**. Geneva: World Health Organization, 2000.

DOBRE, I. et al. Palynological evaluation of selected honeys from Romania. **Grana**, Oslo, v. 52, n. 2, p. 113-121, 2013.

DOMINGUES, P. **Colheita de mel Cabeço Santo**. 2012. Disponível em: <<https://ecosanto.com/2012/08/19/colheita-de-mel-cabeco-santo/>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

DONER, L. W. The sugars of honey-a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 28, n. 5, p. 443-456, May 1977.

DREAMSTIME. 2020. **Bagaço da cana de açúcar fotos de stock**. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/photos-images/baga%C3%A7o-da-cana-de-a%C3%A7%C3%ACar.html>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Meio Norte. **Sistemas de produção 3**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel/>>. Acesso em: 05 out. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Meio Norte. **Multimedia: Image bank**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-imagens/-/midia/3714001/flor-do-cafe>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Meio Norte. **Saiba mais sobre colheita, extração e beneficiamento de mel**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/19689789/saiba-mais-sobre-colheita-extracao-e-beneficiamento-de-mel>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

EPALETES. **Flor do Eucalipto**. 2020. Disponível em: <<http://www.epaletes.com/eucalipto/flor-eucalipto/>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

ESCRICHE, I. et al. Using flavonoids, phenolic compounds and headspace volatile profile for botanical authentication of lemon and orange honeys. **Food Research International**, Barking, v. 44, n. 5, p. 1504–1513, June 2011.

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

FALKENBERG, D. B.; SIMÕES, T. Espécies de interesse apícola e sua fenologia de floração. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. (Eds.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011, p. 835–860.

FAO. **Production of Honey, natural in World**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL/visualize>>. Acesso em: 3 out. 2019.

FEMAP. Federação mineira de apicultura. 2011. **Estatuto da Federação Mineira de Apicultura**. Disponível em: <<http://femapmg.com.br/site/categorias/noticias>>. Acesso em: 16 set. 2019.

FERNANDES, R. T.; ROSA, I. G.; CONTI-SILVA, A. C. Microbiological and physical-chemical characteristics of honeys from the bee *Melipona fasciculata* produced in two regions of Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 5, p. 1–8, May 2018.

FLORES, M. S. R.; PÉREZ, O. E; COELLO, M. C. S. Characterization of *Eucalyptus Globulus* honeys produced in the Eurosiberian area of the Iberian Peninsula. **International Journal of Food Properties**, Philadelphia, v. 17, n. 10, p. 2177-2191, July 2014.

GIACON, G. **Vernonia polysphaera – Asteraceae**. 2018. Disponível em: <<http://plantasdocerradopaulista.blogspot.com/2018/07/vernonia-polysphaera-asteraceae.html>>. Acesso em: 31 dez. 2019.

GLEITER, R. A.; HORN, H.; ISENGARD, H. D. Influence of type and state of crystallization on the water activity of honey. **Food Chemistry**, London, v. 96, n. 3, p. 441-445, June 2006.

GOIS, G. C. et al. Composição do mel de *Apis mellifera*: requisitos de qualidade. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, v. 7, n. 2, p. 137-147, ago. 2013.

HILGERT-MOREIRA, S. B. et al. Do different landscapes influence the response of native and non-native bee species in the Eucalyptus pollen foraging, in southern Brazil? **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 313, p. 153-160, Feb. 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil da Pecuária Municipal**. 2016. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2016/default\\_xls\\_perfil.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2016/default_xls_perfil.shtm)>. Acesso em: 3 out. 2019.

JE´ANNE, F. Le miel: sa cristallisation. L´activite´ de l´eau [Honey: crystallization. Water activity]. **Bulletin Technique Apicole**, Espanha, v. 76, p. 157–160, Jan. 1991.

KABBANI, D.; SEPULCRE, F.; WEDEKIND, J. Ultrasound-assisted liquefaction of rosemary honey: Influence on rheology and crystal content. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 107, p. 173–178, Dec. 2011.

KADAR, M. et al. Volatile fraction composition and physicochemical parameters as tools for the differentiation of lemon blossom honey and orange blossom honey. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 91, n. 15, p. 2768-2776, Dec. 2011.

KADRI, S. M. et al. Characterization of *Coffea arabica* monofloral honey from Espírito Santo, Brazil. **Food Chemistry**, London, v. 203, p. 252-257, July 2016.

KAHRAMAN, T. et al. Physicochemical properties in honey from different regions of Turkey. **Food Chemistry**, London, v. 123, n. 1, p. 41–44, Nov. 2010.

KARABAGIAS, I. K. et al. Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. **Food Chemistry**, London, v. 146, p. 548-557, Mar. 2014.

KARASU, S. et al. Thermal loop test to determine structural changes and thermal stability of creamed honey: Rheological characterization. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 150, n. 150, p. 90-98, April 2015.

KEK, S. P. et al. Classification of honey from its bee origin via chemical profiles and mineral content. *Food Analytical Methods*, New York, v. 10, n. 1, p. 19-30, June 2017.

KIFFER, D. **Apicultura: uma aliada na preservação ambiental**. 2015. Disponível em: <<http://www.faperj.br/?id=2902.2.2>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

KOCH, J. C. **Qualidade do mel e seu beneficiamento**. 2015. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

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

KUROISHI, A. M. et al. Avaliação da cristalização de mel utilizando parâmetros de cor e atividade de água. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 84-91, jan./mar. 2012.

LACHMAN, J. et al. Analysis of minority honey components: possible use for the evaluation of honey quality. **Food Chemistry**, London, v. 101, n. 3, p. 973-979, Dec. 2007.

LAOS, K. et al. The crystallization behaviour of Estonian honeys. **Agronomy Research**, Tartu, v. 9, p. 427-432, Jan. 2011.

LAZARIDOU, A. et al. Composition, thermal and rheological behaviour of selected greek honeys. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, n. 1, p. 9-21, Sept. 2004.

LORENTE, M. G.; CARRETERO, C. L.; MARTÍN, R. A. P. Sensory attributes and antioxidant capacity of spanish honeys. **Journal of Sensory Studies**, Malden, v. 23, n. 3, p. 293-302, June 2008.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. D. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2008.

LUPANO, C. E. DSC study of honey granulation stored at various temperatures. **Food Research International**, Barking, v. 30, p. 683-688, Nov. 1997.

MACHADO DE-MELO, A. A. et al. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. **Journal of Apicultural Research**, London, v. 57, n. 1, p. 5-37, June 2017.

MARANGONI, A. G.; WESDORP, L. H. **Nucleation and Crystalline Growth Kinetics, Structure and Properties of fat Crystal Networks**. USA: CRC Press, 2013. p. 27-38.

MARCAZZAN, G. L. et al. A review of methods for honey sensory analysis. **Journal of Apicultural Research**, London, v. 57, n. 1, p. 75-87, Sept. 2017.

MARCHINI, L. C.; MORETI, A. C. C. Comportamento de coleta de alimento por *Apis mellifera* L. 1758 (Hymenoptera, apidae) em cinco espécies de Eucalyptus. **Archivos latinoamericanos de Producción Animal**, Venezuela, v. 11, n. 2, p. 75-79, set. 2003.

MARCHINI, L. C.; MORETI, A. C. C.; OTSUK, I. P. Análise de agrupamento, com base na composição físico-química de amostra de méis produzidos por *Apis mellifera* L. no estado de São Paulo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 8-17, jan./mar. 2005.

MARQUELE-OLIVEIRA, F. et al. Fundamentals of Brazilian honey analysis: an overview. In: TOLEDO, V. A. A. (Eds.). 1st ed, Chapter 7. **Honey Analysis**. In Tech, 2017. p. 139-170.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; RECH, T. D.; TORESAN, L. **Bracatinga, Mimosa scabrella Benthian: cultivo, manejo e usos da espécie**. Florianópolis: Epagri, 2014. 365p.

MELO, M. A. **Efeito de *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae) sobre a utilização de fontes de pólen por *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Apidae) na região de Viçosa, MG.** 2004. 59 p. Tese (Doutorado em Entomologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MERCADANTE, M. ***Baccharis dracunculifolia* DC. ASTERACEAE**, 2008. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/mercadanteweb/6890919790>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

MONTE, C. M. G.; GIUGLIANI, E. R. J. Recomendações para alimentação complementar da criança em aleitamento materno. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 80, n. 5, S131-S141, nov. 2004.

NAYIK, G. A.; DAR, B. N.; NANDA, V. Physico-chemical, rheological and sugar profile of different honeys from Kashmir Valley of India. **Arabian Journal of Chemistry**, Saudi Arabia, Aug. 2015. doi: 10.1016/j.arabjc.2015.08.017

NUTTER, J. et al. Effect of *Prosopis* sp. honey on the growth and fermentative ability of *Pediococcus pentosaceus* and *Lactobacillus fermentum*. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 70, p. 309-314, July 2016.

ORSOLIC, N.; BASIC, I. Honey as a cancer-preventive agent. **Periodicum Biologorum**, Croatia, v. 106, p. 397–401, Jan. 2004.

OSATO, M. S.; REDDY, S. G.; GRAHAM, D. Y. OSMOTIC EFFECT OF HONEY ON GROWTH AND viability of *Helicobacter pylori*. **Digestive Diseases and Sciences**, Switzerland, v. 44, p. 462–464, Mar. 1999.

OSÉS, S. M. et al. Bioactive properties of honey with propolis. **Food Chemistry**, London, v. 196, p. 1215–1223, Apr. 2016.

PARK, Y. K. et al. Chemical constituents in *Baccharis dracunculifolia* as the main botanical origin of southeastern Brazilian propolis. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 52, n. 5, p. 1100-3, Mar. 2004.

PASIN, L. E. V.; TERESO, M. J. A.; BARRETO, L. M. R. C. Análise da produção e comercialização de mel natural no Brasil no período de 1999 a 2010. **Agroalimentaria**, Merida, v. 18, n. 34, p. 29-42, June 2012.

PEREIRA, F. M. et al. **Sistemas de Produção: Produção de Mel**. Embrapa Meio-Norte, 2003. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_sisal/arvore/CONT000fckg3dhh02wx5eo0a2ndxyauspqau.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckg3dhh02wx5eo0a2ndxyauspqau.html)>. Acesso em: 09 out. 2019.

PEREIRA, O. J. R.; REIS, J. M. Estudo comparativo da ação bactericida do mel sobre *Staphylococcus aureus*/. **Revista Ciências em Saúde**, Viçosa, v. 5, n. 2, Apr. 2015

PERSANO ODDO, L.; PIRO, R. Main European unifloral honeys: descriptive sheets. **Apidologie**, Les Ulis, v. 35, n. 1, p. S38–S81, May 2004.

- PONTES, M.; MARQUES, J.; CAMARA, J. Screening of volatile composition from Portuguese multifloral honeys using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography–quadrupole mass spectrometry. **Talanta**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 91-103, Nov. 2007.
- PUSCAS, A.; HOSU, A.; CIMPOIU, C. Application of a newly developed and validated high-performance thin-layer chromatographic method to control honey adulteration. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1272, p. 132-135, Jan. 2013.
- RIBEIRO, R. D. O. R. et al. Classification of Brazilian honeys by physical and chemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance (LF 1H NMR). **LWT-Food Science and Technology**, London, v. 55, n. 1, p. 90-95, April 2014.
- RIBEIRO, M. C.; MOREIRA, R. F. A.; DE MARIA, C. A. B. Volatile profile of the headspace fraction of “assa-peixe” (*Vernonia* sp.) honeys. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 169-171, jan./mar. 2008.
- RICCIARDELLI D'ALBORE, G. **Mediterranean Melissopalynology**. Perugia: Instituto di Entomologia agraria, 1998.
- ROSHAN, A. R. A. et al. Characterization and discrimination of the floral origin of sidr honey by physicochemical data combined with multivariate analysis. **Food Analytics Methods**, New York, v. 10, n. 1, p. 137-146, Jan. 2017.
- SAMPAIO, M. R. F. et al. Determination of pesticide residues in sugarcane honey by QuEChERS, and liquid chromatography. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 197-205, Feb. 2012.
- SANCHEZ, M. P. et al. Evolution of invertase activity in honey over two years. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, n. 1, p. 416-422, Jan. 2001.
- SAXENA, S.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. **Food Chemistry**, London, v. 118, p. 391–397, 2010.
- SCHIEVANO, E. et al. **Characterization of markers of botanical origin and other compounds extracted from unifloral honeys. Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 61, n. 8, p. 1747-1755, Feb. 2013.
- SCHIEVANO, E. et al. Preliminary characterization of monofloral *Coffea* spp. honey correlation between potential biomarkers and pollen content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 63, n. 25, p. 5858-5863, Mar. 2015.
- SEAPAS - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. **Subsecretaria do Agronegócio, Agrodados, relatório da pecuária 2015**. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/2014-09-23-01-07-23/relatorios/pecuaria>. Acesso em: 30 de janeiro de 2020.
- SEELEY, T. D. Social foraging in honey bees: how nectar foragers assess their colony's nutritional status. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, New York, v. 24, n. 3, p. 181-189, Mar. 1989.

SFORCIN, J. M. et al. ***Baccharis dracunculifolia*: uma das principais fontes vegetais da própolis brasileira**. São Paulo: Editora Unesp, 2012.

SHANTAL, R. F.; ESCUREDO, O. M.; CARMEN SEIJO, M. Assessment of physicochemical and antioxidant characteristics of *Quercus pyrenaica* honeydew honeys. **Food Chemistry**, London, v. 166, p. 101-106, Jan. 2015.

SILVA, K. F. N. L. et al. Comportamento reológico do mel de *Apis mellifera* do Município de Tabuleiro do Norte – CE. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 52-57, July 2010.

SILVA, P. M. et al. Honey: chemical composition, stability and authenticity. **Food Chemistry**, London, v. 196, n. 1, p. 309-323, Apr. 2016.

SIMEÃO, C. M. G. et al. Pollen analysis of honey and pollen collected by *Apis mellifera* linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae), in a mixed environment of *Eucalyptus* plantation and native cerrado in Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 75, n. 4, p. 821-829, Nov. 2015.

SOARES, S. et al. Portuguese honeys from different geographical and botanical origins: a 4-year stability study regarding quality parameters and antioxidant activity. **Molecules**, Basel, v. 22, n. 8, p. 1338, Aug. 2017.

SOUZA, D. C. **Apicultura: Manual do agente de desenvolvimento rural**. 2. ed, Brasília: Sebrae, 2007. 186p.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 164p.

TERRAB, A.; DIEZ, M. J.; HEREDIA, F. J. Palynological, physico-chemical and colour characterization of Moroccan honeys. II. Orange (*Citrus* sp.) honey. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 387-394, Mar. 2003.

TORNUK, F. et al. Quality characterization of artisanal and retail Turkish blossom honeys: determination of physicochemical, microbiological, bioactive properties and aroma profile. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 46, p. 124-131, Apr. 2013.

TOSI, E. A. et al. Effect of honey high-temperature short-time heating on parameters related to quality, crystallisation phenomena and fungal inhibition. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 37, n. 6, p. 669-678, Sept. 2004.

TOSI, E. et al. Honey thermal treatment effects on hidroxymethylfurfural content. **Food Chemistry**, London, v. 77, n. 1, p. 71-74, May 2002.

TRÁVNÍČEK, P.; PŘIDAL, A. Thixotropic behavior of honey from *Eucalyptus* spp. **Journal of Food Processing and Preservation**, New York, v. 41, n. 4, e13094, Sept. 2016.

TURHAN, I. et al. Quality of honeys influenced by thermal treatment. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 8, p. 1396-1399, Nov. 2008.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Beekeeping in the United States. p. 193.

VALDÉS-SILVERIO, L. A. Physicochemical parameters, chemical composition, antioxidant capacity, microbial contamination and antimicrobial activity of Eucalyptus honey from the Andean region of Ecuador. **Journal of Apicultural Research**, London, v. 57, n. 3, p. 382–39, Feb. 2018.

VALLIANOU, N. G. et al. Honey and its anti-inflammatory, anti-bacterial and anti-oxidant properties. **General Medicine**, Los Angeles, v. 2, n. 2, p. 132, Jan. 2014.

VANELLE, S. M. **Redes neurais artificiais e modelos de regressão na predição de propriedades reológicas de méis brasileiros**. 2016. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

VENIR, E.; SPAZIANI, M.; MALTINI, E. Crystallization in ‘Tarassaco’ Italian honey studied by DSC. **Food Chemistry**, v. 122, n. 2, p. 410-415, Sept. 2010.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do mel**. Vitória: UFES, 2007. p. 1-8. (Boletim Técnico – PIE).

VIÑAS, P. et al. Simultaneous liquid chromatographic analysis of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde and methyl anthranilate in honey. **Food Chemistry**, London, v. 44, n. 1, p. 67-72, Jan. 1992.

WENSELEERS, T. **Pulando de flor em flor**. 2016. Disponível em: <<http://www.defesavegetal.net/single-post/2016/10/17/Pulando-de-flor-em-flor>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

WIESE, H. **Apicultura: Novos tempos**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2000. 423 p.

WOLFF, L. F. **Sistema de produção de mel para a região sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 88 p.

WOLFF, V. R. S.; WITTER, S.; LISBOA, B. B. Reporte de *Stigmacoccus paranaensis* Foldi (Hemiptera, Stigmacoccidae), insecto escama asociado con la producción de miel de mielato en Rio Grande do Sul, Brasil. **Insecta Mundi**, Gainesville, v. 434, p. 1-7, July 2015.

YAO, L. et al. Crystallisation and moisture sorption properties of selected Australian unifloral honeys. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 83, n. 9, p. 884-888, July 2003.

YILMAZ, M. T. et al. Steady, dynamic and creep rheological analysis as a novel approach to detect honey adulteration by fructose and saccharose syrups: Correlations with HPLC-RID results. **Food Research International**, Barking, v. 64, p. 634-646, Oct. 2014.

YÜCEL, Y.; SULTANOGLU, P. Characterization of honeys from Hatay region by their physicochemical properties combined with chemometrics. **Food Bioscience**, United Kingdom, v. 1, p. 16-25, Mar. 2013.

ZAIZULIANA, R. A. N. et al. Effect of storage conditions on the crystallisation behaviour of selected Malaysian honeys. **International Food Research Journal**, 24(Suppl), Selangor, S475-S480, Dec. 2017.

ZAMORA, M. C.; CHIRIFE, J. Determination of water activity change due to crystallization in honeys from Argentina. **Food Control**, Guildford, v. 17, n. 1, p. 59-64, Jan. 2006.

ZENEBON, O.; PASCUCT, N.S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 137p.

ZHENG, Y. et al. Evaluation of total antioxidant activity of different floral sources of honeys using crosslinked hydrogels. **International Journal of Electrochemical Science**, Belgrado, v. 14, n. 2, p. 1479–1487, Feb. 2019.

ZHU, X. et al. Detection of adulterants such as sweeteners materials in honey using near-infrared spectroscopy and chemometrics. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 101, n. 1, p. 92-97, Nov. 2010.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS****ARTIGO 1 - QUALIDADE DE MÉIS DE DIFERENTES ORIGENS BOTÂNICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Normas da Revista Científica: International Journal of Food Sciences and Nutrition  
ISSN: 1465-3478  
(versão preliminar)

Maria Cecília Evangelista Vasconcelos Schiassi<sup>1\*</sup>, Vanessa Rios de Souza<sup>1</sup>, Amanda Maria Teixeira Lago<sup>1</sup>, Gabriel Ribeiro Carvalho<sup>1</sup>, Paula Nogueira Curi<sup>2</sup>, Angélica Sousa Guimarães<sup>1</sup> e Fabiana Queiroz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 37200-900, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 37200-900, Brasil.

\*Autor correspondente: Maria Cecília Evangelista Vasconcelos Schiassi, Campus Universitário, Laboratório de Pesquisa em Química e Conservação de Alimentos, Caixa Postal 3037, 37200-900, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Tel: (+55) (35) 988183355; E-mail: vasconcelosmariaufila@gmail.com.

## RESUMO

Como as diferentes origens botânicas estão entre os principais fatores que afetam a composição e a qualidade do mel, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes espécies de méis monoflorais (assa-peixe, café, eucalipto, laranjeira e vassourinha), multifloral (silvestre), extrafloral (cana-de-açúcar) e melato (bracatinga) em relação às características químicas, físico-químicas, físicas, comportamento reológico, compostos bioativos e atividade antioxidante, além de avaliar suas características sensoriais (teste de aceitação e o teste *check-all-that-apply* (CATA)). Todos os méis estavam em conformidade com a legislação vigente e apresentavam comportamento Newtoniano, sendo que os méis de assa-peixe, laranjeira e café se destacaram por apresentar a maior viscosidade. O mel da cana-de-açúcar se destacou por estar entre os méis com a maior atividade antioxidante, enquanto o mel de melato de bracatinga se destacou em relação aos compostos fenólicos. Em relação à análise sensorial, os méis florais apresentaram maior aceitabilidade quando comparados aos méis de melato e extrafloral, visto que o mel de melato foi influenciado negativamente pelo sabor amargo, alcoólico e adstringente, e o mel extrafloral pelo aroma de queimado. Assim, verificou-se que os parâmetros dos méis são diretamente influenciados pelas origens botânicas de cada tipo, a ponto de contribuir para sua diferenciação.

**Palavras-chave:** Antioxidante; CATA; mel; reologia; análise sensorial.

## Introdução

O mel é um produto natural e doce obtido a partir do néctar coletado de flores (méis florais) e das secreções procedentes de partes vivas de plantas ou excreções de insetos sugadores de plantas (méis de melato), no qual as abelhas, a partir do recolhimento desses compostos misturam com as secreções de glândulas salivares e, em seguida, armazenam nos favos da colmeia para que ocorra a maturação (Zheng et al. 2019). No Brasil, o mel ainda pode ser produzido pelas abelhas através da colheita da seiva de açúcar (méis extraflorais) que brota do bagaço da cana-de-açúcar após o corte (Barth 2004), denominado mel da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.).

O mel é utilizado pelos seres humanos como alimento e produto terapêutico desde os tempos antigos até a civilização moderna, onde seu uso na nutrição e saúde humana se deve à sua composição química (Alvarez-Suarez et al. 2018). A qualidade, composição, cor e características sensoriais do mel dependem, principalmente, das espécies de abelhas envolvidas na sua produção, fontes florais, extraflorais e/ou de melato, origem geográfica, condições climáticas, processamento e armazenamento (Silva et al. 2016a).

O mel de origem floral procede do néctar das flores de uma única espécie vegetal, denominada de méis monoflorais, como o mel de assa-peixe (*Vernonia polysphaera*), café (*Coffea* spp.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), laranjeira (*Citrus sinensis*) e vassourinha (*Baccharis* spp.). O mel proveniente de várias origens florais é denominado mel polifloral, em que sua composição é afetada pela fonte floral, como o mel silvestre (Kadri et al. 2016). Há também os méis de melato, como o mel de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), que passaram a ser cada vez mais conhecidos e valorizados pelos consumidores e pela indústria alimentícia (Azevedo et al. 2017). Além destes méis há o extrafloral (cana-de-açúcar) sendo caracterizado por apresentar coloração escura e com elevado teor de sacarose (Barth, 2004).

O mel produzido pelas abelhas melíferas *Apis* spp. é o mais popular e comercialmente disponível em todo o mundo, por ser considerado um alimento saudável com alto valor nutricional e apresentar uma variedade de atividades biológicas benéficas (Zheng et al. 2019). O Brasil possui grande potencial para a produção de mel, uma vez que possui flora diversificada, variação climática e ampla extensão territorial, o que possibilita sua produção ao longo do ano, com diferentes composições e características.

A prática apícola desempenha um papel importante na preservação da biodiversidade devido ao seu envolvimento na polinização de diversas plantas (Escriche et al. 2017) e no ano de 2017 a produção mundial de mel foi de aproximadamente 1861 mil t., sendo que no mesmo ano, a China foi responsável por 29% dessa produção e liderou a lista dos países com maiores

produções, seguida pela União Européia (12%), Turquia (6%) e Argentina (4%). Enquanto o Brasil atingiu cerca de 42 mil t e a 12ª posição no *ranking* mundial (FAO 2019).

O estado brasileiro Minas Gerais, é o terceiro maior produtor de mel do país, obteve uma produção de 4,9 mil t no ano de 2016 e os dados apontam que sua participação na produção nacional cresceu de 10% para 12,39% entre 2002 e 2016. Esse número tende a crescer, pois sua vegetação nativa e condições climáticas permitem a produção de mel de alta qualidade, o que tem tornado a apicultura destaque no agronegócio (IBGE 2016).

Neste cenário, uma variedade de amostras de mel com diferentes características e composições é identificada em todo território. Como sua composição influencia diretamente nas propriedades do produto final, sendo considerada indicadora da qualidade e determinante na aceitabilidade do mel, faz-se necessário uma investigação dos produtos disponíveis no mercado. Com este propósito, o objetivo deste estudo foi avaliar às características químicas, físico-químicas, físicas, comportamento reológico, compostos bioativos, atividade antioxidante e características sensoriais de diferentes méis monoflorais (assa-peixe, café, eucalipto, laranjeira, silvestre e vassourinha), extrafloral (cana-de-açúcar) e de melato (bracatinga) produzidos no estado de Minas Gerais, a fim de agregar maior valor aos diferentes cultivares existentes.

## **Material e métodos**

### **Amostras de mel**

Os méis de assa-peixe (*Vernonia polysphaera*), bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), café (*Coffea* spp.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), laranjeira (*Citrus sinensis*), silvestre e vassourinha (*Baccharis* spp.) foram obtidos de um apiário, localizado no município de São Lourenço, Minas Gerais (MG), Brasil. Conforme informado pelo fabricante, todos os méis foram coletados (safra de 2018), centrifugados, filtrados, acondicionados em bisnagas transparentes de polietileno de 300 g e, por fim, armazenados em temperatura ambiente.

### **Análise química, físico-química e física**

O teor de umidade foi mensurado utilizando o refratômetro portátil (Instrutherm, modelo RT 280, São Paulo, Brasil) (AOAC 2012) e o índice de refração foi determinado e convertido em teor de umidade através da tabela de referência (Chataway) e os resultados foram expressos em porcentagem.

O teor de cinzas foi avaliado pelo método gravimétrico, onde as cinzas foram determinadas a partir da incineração das amostras em mufla aquecida a 600 °C (AOAC 2012).

A condutividade elétrica foi mensurada a 20 °C em soluções de amostras de mel diluídas em água deionizada a 20% (p/v), usando um condutivímetro (modelo NT-CVM, Novatecnica, São Paulo, SP, Brasil) e os resultados foram expressos em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Bogdanov 2009). A atividade da água foi medida em Aqualab (modelo CX2 T, Decagon Devices Inc., Pullman, USA) a  $25 \pm 0,3$  °C.

A determinação do pH, acidez (livre, lactônica e total) e sólidos solúveis foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por AOAC (2012). A acidez total foi obtida por meio da soma de acidez livre e a lactônica. Para análise de acidez livre pesou-se 10 g de amostra e diluiu-se em 75 mL de água, em seguida a acidez livre foi determinada por titulação com NaOH 0,05 N até atingir um pH de 8,5 e a acidez lactônica foi obtida pela adição de 10 mL de NaOH 0,05 N na solução anterior, a qual foi titulada com HCl 0,05 N até retorno do pH a 8,3.

Os açúcares redutores, totais e sacarose aparente foram determinados baseados no método proposto por Somogyi-Nelson (Maldonado et al. 2013). As leituras da absorbância foram mensuradas utilizando o espectrofotômetro (VIS 325-1000 nm, modelo Biospectro SP-22, São Paulo, SP, Brasil) no comprimento de onda de 510 nm e os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Análise quantitativa de hidroximetilfurfural (HMF) - reação de White e a determinação da atividade diastásica foram realizadas seguindo a recomendação dos Métodos Harmonizados da Comissão Europeia de Mel (Bogdanov 2009). Para a análise de HMF, 5 g de mel foram dissolvidos em 25 mL de água deionizada, misturado com agente de clarificação (Carrez I e Carrez II) e filtrado. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 284 e 336 nm e o resultado foi expresso em mg de HMF/kg de mel. Na análise da atividade diastásica, uma solução tamponada de amido solúvel e mel foram incubados a 40 °C em banho termostático. Posteriormente, 0,5 mL foi retirado dessa mistura a cada 5 minutos e a absorção da amostra foi acompanhada a 660 nm, até que o valor de absorbância fosse menor que 0,235. O resultado foi expresso na escala de Gothe.

A cor foi analisada utilizando um colorímetro instrumental (modelo CM5, espectrofotômetro Konica Minolta, São Paulo, SP, Brasil), operando no sistema de cores CIELab, em que foram avaliados os parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ , onde:  $L^*$  (luminosidade) varia de 100 (cem) para superfícies brancas puras a 0 (zero) para superfícies pretas puras;  $C^*$  = saturação e  $h^\circ$  = tonalidade.

### Comportamento reológico

O comportamento reológico foi determinado a 20 °C em reômetro rotacional de cilindros concêntricos Brookfield (DV III Ultra model, Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, USA), utilizando o spindle SCA-29. Para a estabilização da temperatura, um banho termostático Brookfield (EX 200 model, Brookfield Engineering Laboratories) foi acoplado ao cilindro encamisado. Cada amostra foi submetida a uma rampa crescente de taxa de deformação (0 a 30 s<sup>-1</sup>), durante 6 min de ensaio, sendo tomados 18 pontos. Os modelos Lei de Newton (Eq. 1), Lei da Potência (Eq. 2) e *Herschel-Bulkley* (Eq. 3) foram ajustados aos dados experimentais.

$$\sigma = \mu\dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

Em que,  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento (Pa),  $\mu$  é a viscosidade Newtoniana (Pa·s),  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>),  $k$  é o índice de consistência (Pa·s<sup>n</sup>),  $n$  é o índice de comportamento do fluxo (adimensional) e  $\sigma_0$  é a tensão inicial de escoamento (Pa).

### Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais

Os extratos para análise da atividade antioxidante e compostos fenólicos foram preparados baseado no método desenvolvido por Larrauri et al. (1997). O teor de fenólicos foi estimado segundo o método de Folin-Ciocalteu (Waterhouse 2002), sendo a absorbância medida em espectrofotômetro (VIS 325-1000 nm, modelo Biospectro SP-22, São Paulo, SP, Brasil), no comprimento de onda de 750 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de mel (mg AGEs/100 g f.w.).

O método de ABTS seguiu a metodologia descrita por Re et al. (1999), onde as leituras espectrofotométricas foram realizadas a um comprimento de onda de 734 nm e os resultados foram expressos em micromoles de Trolox-equivalente por grama de mel ( $\mu\text{M}$  trolox TE/g f.w.). A capacidade de eliminação de radicais livres do DPPH foi avaliada baseada no método de Brand-Williams et al. (1995). As leituras das absorbâncias foram realizadas a 515 nm em um espectrofotômetro e os resultados expressos em EC<sub>50</sub> (g f.w./g DPPH).

## **Análise Sensorial**

Um total de 100 provadores não treinados foi recrutado aleatoriamente (71 mulheres e 29 homens), com idade entre 18 e 60 anos, que afirmaram consumir mel regularmente. Cada participante avaliou oito amostras de mel em 2 sessões (4 amostras em cada sessão). Amostras (15 mL) foram oferecidas em copos plásticos descartáveis de 50 mL, codificados com números de três dígitos e apresentados em ordem balanceada. A escala hedônica de 9 pontos (1 = desgostei extremamente; 9 = gostei extremamente) foi utilizada para avaliação dos atributos cor, aroma, sabor, consistência e impressão global (Stone et al. 2012).

Após o teste de aceitação, foi aplicado o teste CATA (*check-all-that-apply*), em que os provadores foram instruídos a indicar quais os atributos que mais descreviam cada amostra em relação aos atributos de aparência, aroma, sabor e consistência nesta ordem (Meyners e Castura 2014). Os termos utilizados para cada parâmetro foram: (I) aparência (amarelo, marrom, translúcido, brilhante, opaco e presença de bolhas); (II) aroma (adocicado, floral, queimado, caramelizado, ervas, própolis e melado); (III) sabor (gosto doce, gosto amargo, frutado, floral, alcoólico, própolis, rapadura, ervas, cera, refrescante e adstringente); e (IV) consistência (cremoso, líquido, viscoso, aveludado, consistente e liso). Estes termos foram obtidos por um grupo de foco com uma equipe de provadores experientes na área de sensorial. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética local (nº 2.551.551).

## **Análise Estatística**

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e teste de média (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada ao conjunto de dados químicos, físico-químicos, e físicos, a fim de facilitar a visualização dos dados. Os dados foram dispostos em uma matriz de  $i$  linhas (8 amostras) e  $j$  colunas (19 parâmetros), sendo padronizados (matriz de correlação). Os dados do teste de média e do PCA foram analisados usando o software Sensomaker v. 1.91 (Pinheiro et al. 2013).

Os modelos reológicos foram ajustados aos dados experimentais das curvas de fluxo usando o pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS University Edition, Cary, EUA, 2016) e o gráfico foi plotado usando o software SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., Califórnia, EUA, 2008).

Para melhor entendimento e visualização da aceitação sensorial das amostras, os dados foram avaliados por análise multivariada, utilizando o mapa de preferências internas de três vias, obtido por PARAFAC (Nunes et al. 2011), utilizando o software Sensomaker v. 1.91. Uma matriz de três vias foi organizada a partir de matrizes empilhadas (consumidor x amostras) dos

atributos de aceitação. Cada matriz de aceitação individual dos atributos de aceitação do consumidor foi previamente padronizada (matriz de correlação).

Na análise dos dados do CATA, a frequência de citação de cada atributo foi determinada pela contagem do número de vezes que os provadores marcaram cada atributo para cada amostra. Para verificar diferenças significativas entre as amostras para cada atributo, foi aplicado o teste Q de Cochran usando o software R CORE TEAM (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria, 2018). Em seguida, utilizando o software Sensomaker versão 1.8, a análise de correspondência (CA) foi calculada sobre a matriz contendo a frequência de citação dos atributos, para os quais foram detectadas diferenças significativas pelo teste Q de Cochran, a fim de determinar a configuração espacial dos atributos, bem como das amostras (Meyners e Castura 2014).

## **Resultados e discussão**

### **Análise química, físico-química e física**

A Tabela 1 apresenta os valores médios dos resultados das características químicas, físico-químicas e cor instrumental obtidas para os diferentes méis. As amostras diferiram entre si ( $p \leq 0,05$ ) para todos os atributos avaliados. Os parâmetros utilizados como referência para os índices de qualidade do mel foram baseados no Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel (Brasil 2000) e na Legislação Internacional (Codex Alimentarius 2001).

**Tabela 1.** Aspectos químicos, físico-químicos e cor instrumental dos diferentes méis.

Análises	Tratamentos								
		Méis monoflorais					Mel polifloral	Mel de melato	Mel extrafloral
	Legislação	Assa-Peixe	Café	Eucalipto	Laranjeira	Vassourinha	Silvestre	Bracatinga	Cana-de-açúcar
Químicas									
Umidade <sup>1</sup>	≤ 20	16,13 ± 0,23 <sup>c</sup>	17,00 ± 0,60 <sup>bc</sup>	18,40 ± 0,35 <sup>a</sup>	16,13 ± 0,23 <sup>c</sup>	18,40 ± 0,35 <sup>a</sup>	18,20 ± 0,35 <sup>a</sup>	18,20 ± 0,35 <sup>a</sup>	17,53 ± 0,50 <sup>ab</sup>
Cinza <sup>2</sup>	≤ 0,60	0,04 ± 0,02 <sup>d</sup>	0,09 ± 0,02 <sup>d</sup>	0,33 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,27 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,34 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,37 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,59 ± 0,02 <sup>a</sup>
Físico-químicos									
Condutividade elétrica		271,27 ± 1,20 <sup>g</sup>	402,80 ± 0,20 <sup>f</sup>	873,23 ± 1,00 <sup>b</sup>	235,13 ± 0,75 <sup>h</sup>	539,73 ± 2,14 <sup>e</sup>	767,57 ± 2,39 <sup>c</sup>	728,37 ± 2,65 <sup>d</sup>	1512,67 ± 2,52 <sup>a</sup>
pH	-	4,02 ± 0,00 <sup>g</sup>	4,14 ± 0,00 <sup>f</sup>	4,44 ± 0,00 <sup>c</sup>	4,39 ± 0,00 <sup>d</sup>	3,98 ± 0,00 <sup>h</sup>	4,19 ± 0,00 <sup>e</sup>	5,14 ± 0,00 <sup>a</sup>	4,60 ± 0,00 <sup>b</sup>
Acidez livre <sup>1</sup>	≤ 50	14,31 ± 0,26 <sup>e</sup>	16,30 ± 0,13 <sup>d</sup>	17,23 ± 0,53 <sup>d</sup>	9,14 ± 0,13 <sup>g</sup>	29,55 ± 0,40 <sup>b</sup>	22,26 ± 0,80 <sup>c</sup>	10,65 ± 0,74 <sup>f</sup>	42,40 ± 0,27 <sup>a</sup>
Acidez lactônica	-	8,00 ± 0,50 <sup>b</sup>	13,50 ± 0,50 <sup>a</sup>	7,83 ± 0,38 <sup>b</sup>	4,17 ± 0,38 <sup>d</sup>	2,75 ± 0,25 <sup>e</sup>	3,75 ± 0,25 <sup>de</sup>	5,92 ± 0,38 <sup>c</sup>	6,42 ± 0,52 <sup>c</sup>
Acidez total	-	22,31 ± 0,67 <sup>e</sup>	29,80 ± 0,45 <sup>c</sup>	25,06 ± 0,91 <sup>d</sup>	13,31 ± 0,51 <sup>g</sup>	32,30 ± 0,57 <sup>b</sup>	26,01 ± 0,95 <sup>d</sup>	16,57 ± 0,94 <sup>f</sup>	48,82 ± 0,78 <sup>a</sup>
Sólidos solúveis	-	81,83 ± 0,29 <sup>a</sup>	81,00 ± 0,50 <sup>ab</sup>	79,67 ± 0,29 <sup>c</sup>	81,83 ± 0,29 <sup>a</sup>	79,50 ± 0,50 <sup>c</sup>	79,83 ± 0,29 <sup>c</sup>	79,83 ± 0,29 <sup>c</sup>	80,50 ± 0,50 <sup>bc</sup>
Aw	-	0,55 ± 0,00 <sup>ef</sup>	0,56 ± 0,00 <sup>cd</sup>	0,58 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,54 ± 0,00 <sup>f</sup>	0,60 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,55 ± 0,00 <sup>de</sup>	0,58 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,56 ± 0,00 <sup>c</sup>
Açúcar total	-	73,53 ± 0,24 <sup>a</sup>	69,24 ± 0,72 <sup>de</sup>	71,38 ± 0,88 <sup>bc</sup>	70,92 ± 0,90 <sup>bcd</sup>	68,55 ± 0,42 <sup>e</sup>	70,40 ± 0,98 <sup>cde</sup>	71,22 ± 0,92 <sup>bcd</sup>	72,67 ± 0,57 <sup>ab</sup>
Açúcar redutor total <sup>1</sup>	≥ 65	68,90 ± 0,69 <sup>a</sup>	66,70 ± 0,41 <sup>b</sup>	67,06 ± 0,48 <sup>ab</sup>	65,96 ± 0,89 <sup>b</sup>	66,26 ± 0,50 <sup>b</sup>	66,99 ± 0,98 <sup>ab</sup>	65,98 ± 0,81 <sup>b</sup>	68,77 ± 0,70 <sup>a</sup>
Sacarose <sup>1</sup>	≤ 5-6	4,40 ± 0,53 <sup>a</sup>	2,41 ± 0,35 <sup>bc</sup>	4,10 ± 0,58 <sup>ab</sup>	4,71 ± 0,60 <sup>a</sup>	2,18 ± 0,17 <sup>c</sup>	3,24 ± 0,50 <sup>abc</sup>	4,98 ± 1,42 <sup>a</sup>	3,71 ± 0,24 <sup>abc</sup>
Hidroximetilfurfural <sup>1</sup>	≤ 40	3,27 ± 0,24 <sup>f</sup>	16,04 ± 0,65 <sup>d</sup>	18,45 ± 1,05 <sup>d</sup>	8,55 ± 0,84 <sup>e</sup>	22,98 ± 1,34 <sup>c</sup>	26,84 ± 1,12 <sup>b</sup>	10,48 ± 1,07 <sup>e</sup>	35,36 ± 0,55 <sup>a</sup>
Atividade diastásica <sup>1</sup>	≥ 8	8,57 ± 0,00 <sup>e</sup>	8,57 ± 0,00 <sup>e</sup>	10,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	12,00 ± 0,00 <sup>c</sup>	10,00 ± 0,00 <sup>d</sup>	15,00 ± 0,00 <sup>b</sup>	20,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	20,00 ± 0,00 <sup>a</sup>
Cor instrumental									
L*	-	10,11 ± 0,55 <sup>d</sup>	17,59 ± 0,58 <sup>a</sup>	10,93 ± 0,29 <sup>cd</sup>	10,90 ± 0,41 <sup>cd</sup>	11,66 ± 0,22 <sup>c</sup>	14,23 ± 0,29 <sup>b</sup>	8,46 ± 0,30 <sup>e</sup>	14,46 ± 0,02 <sup>b</sup>
C*	-	3,69 ± 0,19 <sup>e</sup>	6,24 ± 0,17 <sup>b</sup>	6,64 ± 0,17 <sup>b</sup>	2,25 ± 0,28 <sup>f</sup>	7,30 ± 0,29 <sup>a</sup>	7,62 ± 0,26 <sup>a</sup>	5,40 ± 0,29 <sup>c</sup>	4,58 ± 0,13 <sup>d</sup>
h°	-	125,14 ± 0,87 <sup>a</sup>	104,34 ± 0,85 <sup>b</sup>	105,04 ± 0,76 <sup>b</sup>	123,06 ± 0,84 <sup>a</sup>	95,13 ± 0,78 <sup>c</sup>	92,53 ± 0,88 <sup>d</sup>	72,57 ± 0,86 <sup>e</sup>	60,05 ± 0,94 <sup>f</sup>

Valor médio ± desvio padrão; n = 3. As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem pelo teste de *Tukey* ( $p > 0,05$ ). Umidade (%), Cinza (%), Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Acidez livre, Acidez lactônica, Acidez total (meq/kg), Sólidos solúveis (°Brix), Açúcar redutor total, Açúcar total, Sacarose (%); Hidroximetilfurfural (mg/kg) e Atividade diastásica (°Gothe). <sup>1</sup>Legislação: Brasil (2000) e Codex Alimentarius (2001); <sup>2</sup>Legislação: Brasil (2000).

Os méis apresentaram teor de umidade variando de 16,13 (assa-peixe e laranjeira) a 18,40% (eucalipto e vassourinha), conforme apresentado na Tabela 1, sugerindo que os méis tiveram boa maturação e se encontram dentro do limite máximo permitido pela legislação (Brasil, 2000; Codex Alimentarius, 2001). Esse limite foi definido com a finalidade de garantir a segurança do mel contra a fermentação e o crescimento de leveduras osmofílicas (Escriche et al. 2017). Os méis de bracatinga, eucalipto, silvestre e vassourinha não diferiram estatisticamente e resultados próximos foram relatados por Bergamo et al. (2018) ao avaliar méis de melato de bracatinga (15,20 a 18,40%) e méis florais (16,00 a 19,98%). A variação no teor de umidade observado entre as amostras deve-se a fatores ambientais e ao grau de maturidade atingido na colmeia (Kahraman et al. 2010).

O teor de cinzas depende da composição do mel, o qual fornece a medida direta do resíduo inorgânico após a carbonização (Estevinho et al. 2012). Nas amostras analisadas, o teor de cinzas variou de 0,04% (assa-peixe) a 0,59% (cana-de-açúcar). O teor de cinzas presente no mel de assa-peixe (0,04%), comparado ao resultado de Ribeiro et al. (2014), foi inferior (0,19%), o de eucalipto (0,33%) foi superior (0,12%), e os de laranjeira (0,05%) e silvestre (0,34%) foram próximos (0,09 e 0,30%, respectivamente). Essa variação está relacionada principalmente ao solo em que a planta produtora de néctar está localizada, bem como aos processos de colheita, técnicas de apicultura e material coletado pelas abelhas durante o forrageamento (Finola et al. 2007).

Para os valores de condutividade elétrica, observou-se grande variação entre as amostras analisadas (Tabela 1), uma vez que apresentaram resultados entre 235,13  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (laranjeira) e 1512,67  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (cana-de-açúcar). Segundo o Codex Alimentarius (2001), os méis florais devem apresentar valores de condutividade elétrica  $\leq 800 \mu\text{S}/\text{cm}$  e em nosso estudo somente o mel de eucalipto não se enquadrou nesta classificação. Salvador et al. (2019) afirmam que, além dessa variação ser decorrente principalmente devida à origem botânica, também pode decorrer devido ao grau de diluição. Assim, segundo o autor, a adulteração do mel não pode ser descartada, pois a adição de xaropes preparados com água com alta condutividade elétrica pode produzir o mesmo efeito. Uma ampla faixa de condutividade elétrica em méis de diferentes origens florais também foi relatada por Mendonça et al. (2008), que encontraram uma variação de 227,30 a 1851,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Neste estudo, o pH das amostras variou de 3,98 (vassourinha) a 5,14 (bracatinga). Esses valores são próximos aos encontrados por Bergamo et al. (2018), ao avaliar méis brasileiros, onde relataram variação de pH entre 3,80 a 5,29, respectivamente. As

condições durante a extração e o armazenamento podem afetar o pH do mel, influenciando na estabilidade, na textura e, conseqüentemente, na vida útil do produto (Terrab et al. 2004). Conforme descrito por Saxena et al. (2010), o mel geralmente é de natureza ácida, independentemente de sua origem geográfica. Embora não exista indicação de pH na legislação brasileira, essa medida é considerada importante por ser uma variável auxiliar na variação de qualidade, podendo indicar processos fermentativos ou adulterações do produto.

A acidez lactônica é considerada a reserva de acidez quando o mel se torna alcalino, enquanto a acidez total é a soma da acidez livre e da acidez lactônica (Terrab et al. 2002). Nas amostras analisadas, a acidez livre variou de 9,14 meq/kg (laranjeira) a 42,40 meq/kg (cana-de-açúcar), a acidez lactônica de 2,75 meq/kg (vassourinha) a 13,50 meq/kg (café) e a acidez total entre 13,30 meq/kg (laranjeira) e 48,82 meq/kg (cana-de-açúcar). Neste estudo, todas as amostras apresentaram níveis abaixo do estabelecido pela legislação, o que indica ausência de fermentação indesejável. Silva et al. (2009), relataram resultados próximos de acidez livre (6,40 a 38,10 meq/kg), de acidez lactônica (3,20 a 16,50 meq/kg) e de acidez total (7,80 a 51,50 meq/kg) em méis da região do Luso.

Quanto aos sólidos solúveis, as amostras variaram de 79,50 °Brix (vassourinha) a 81,83 °Brix (assa-peixe e laranjeira), estando próximos aos encontradas por Saxena et al. (2010), que determinaram valores entre 76,20 °Brix e 80,40 °Brix em méis indianos. Segundo Sousa et al. (2016) méis produzidos por abelhas *Apis mellifera* apresentam teor de sólidos solúveis acima de 75 °Brix e, neste estudo, todas as amostras apresentaram resultado superior.

Nos méis, a atividade da água ( $a_w$ ) variou de 0,54 (laranjeira) a 0,60 (vassourinha), sendo bem próximos a de outros méis brasileiros avaliados por Ribeiro et al. (2014), que relataram valores entre 0,53 e 0,67. Esses mesmos autores apontam que a atividade da água é um fator importante na promoção da estabilidade, de forma que pode impedir ou limitar o crescimento microbiano. De acordo com Escriche et al. (2017), o valor de  $a_w$  até 0,60 indica que esses méis têm menos água no estado livre e, portanto, são mais estáveis quanto ao desenvolvimento de microrganismos, reações enzimáticas e químicas.

Os açúcares totais variaram de 68,55% (vassourinha) a 73,53% (assa-peixe), os açúcares redutores de 65,96 (laranjeira) a 68,90% (assa-peixe) e a sacarose de 2,18% (vassourinha) a 4,98% (bracatinga). Em todas as amostras, os valores encontrados para açúcares redutores e sacarose, estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. Os

açúcares totais e redutores presentes nas amostras foram próximos aos relatados por Mendonça et al. (2008), ao avaliarem méis produzidos por *Apis mellifera* do cerrado brasileiro (64,20 a 73,10% para açúcares totais e 60,90 a 71,50% para açúcares redutores), enquanto que para sacarose os resultados foram próximos aos de Gomes et al. (2010) (3,40 a 6,70%).

Em méis, a realização de superaquecimento é prejudicial a qualidade do produto e resulta na formação do hidroximetilfurfural (HMF), que é um indicador de frescor do mel; e seu teor tende a aumentar durante o processamento e/ou envelhecimento do produto (Kadri et al. 2016). Nos méis o conteúdo de HMF variou de 3,27 mg/kg (assa-peixe) a 35,36 mg/kg (cana-de-açúcar), em geral as amostras apresentaram baixo teor e se enquadram no estabelecido pela legislação, o que indica que os méis eram frescos. A temperatura, tempo de aquecimento, pH, fonte floral e condições de armazenamento são fatores que podem influenciar no teor de HMF (Terrab et al. 2002).

No mel, a diastase é uma enzima presente de forma natural, com maior resistência ao calor e possui um papel importante para a avaliação da qualidade do produto em relação à eficácia do processamento e armazenamento, sendo sua atividade utilizada como indicativo do grau de conservação e superaquecimento do mel (Ahmed et al. 2013; Machado De-Melo et al. 2017). Nas amostras, a atividade diastásica variou de 8,57 °Gothe (assa-peixe e café) a 20,00 °Gothe (bracatinga e cana-de-açúcar). Assim, todas as amostras se enquadram no nível mínimo exigido pela legislação, uma vez que apresentaram níveis acima de 8,00 °Gothe. Conforme apresentado na Tabela 1, entre os méis de melato (bracatinga) e extrafloral (cana-de-açúcar) não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) e estes méis apresentaram os maiores valores de atividade diastásica (20,00 °Gothe).

Nos méis, uma das primeiras características percebidas pelos consumidores é a cor e, em muitos países, o preço está relacionado a esse parâmetro (Alvarez-Suarez et al. 2018). Os méis analisados apresentaram o parâmetro de cor L\* variando de 8,46 (bracatinga) a 17,59 (café), o C\* de 2,25 (laranjeira) a 7,62 (silvestre) e o ângulo h° variou de 60,05 (cana-de-açúcar) a 125,14 (assa-peixe). O mel de café obteve o maior valor de L\*, apresentando uma intensidade de cor mais clara, em relação às demais origens botânicas, no entanto, o mel de cana-de-açúcar obteve o menor valor do ângulo h°, caracterizando-o como mais alaranjado. Em relação ao parâmetro C\*, os méis silvestre (7,62) e vassourinha (7,30) diferiram dos demais ( $p \leq 0,05$ ) e são mais opacos. Para o

ângulo h°, não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) entre os méis assa-peixe (125,14) e laranjeira (123,06), sendo caracterizados por apresentarem uma cor mais amarela.

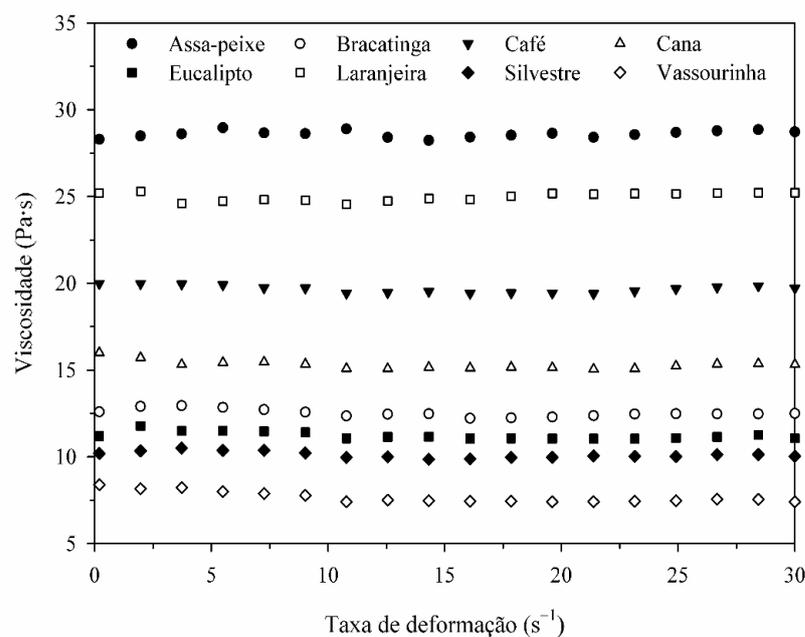
### Comportamento reológico

A tabela 2 apresenta os resultados das análises reológicas dos méis e a Figura 1 representa a relação entre viscosidade (Pa·s) e a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para diferentes méis a 20 °C.

**Tabela 2.** Parâmetros reológicos do modelo da Lei de Newton dos diferentes méis a 20 °C.

Amostras	Lei de Newton		
	$\mu$	R <sup>2</sup>	RMSE
<b>Méis monoflorais</b>			
Assa Peixe	27,21 ± 1,36 <sup>a</sup>	0,9995	0,7188
Café	19,65 ± 1,39 <sup>b</sup>	0,9997	0,3740
Eucalipto	11,13 ± 0,55 <sup>d</sup>	0,9997	0,2394
Laranjeira	25,42 ± 2,17 <sup>a</sup>	0,9991	0,8892
Vassourinha	7,48 ± 0,09 <sup>e</sup>	0,9991	0,2571
<b>Mel polifloral</b>			
Silvestre	10,05 ± 0,28 <sup>de</sup>	0,9996	0,2429
<b>Mel de melato</b>			
Bracatinga	12,44 ± 0,29 <sup>cd</sup>	0,9996	0,2989
<b>Mel extrafloral</b>			
Cana-de-açúcar	15,23 ± 0,16 <sup>c</sup>	0,9998	0,2700

Valor médio ± desvio padrão; n = 3. As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem pelo teste de *Tukey* ( $p > 0,05$ ).  $\mu$  = Viscosidade Newtoniana (Pa·s); R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; RMSE = erro do quadrado médio.



**Figura 1.** Relação entre viscosidade e taxa de cisalhamento dos diferentes méis descritos pelo modelo da lei de Newton a 20 °C.

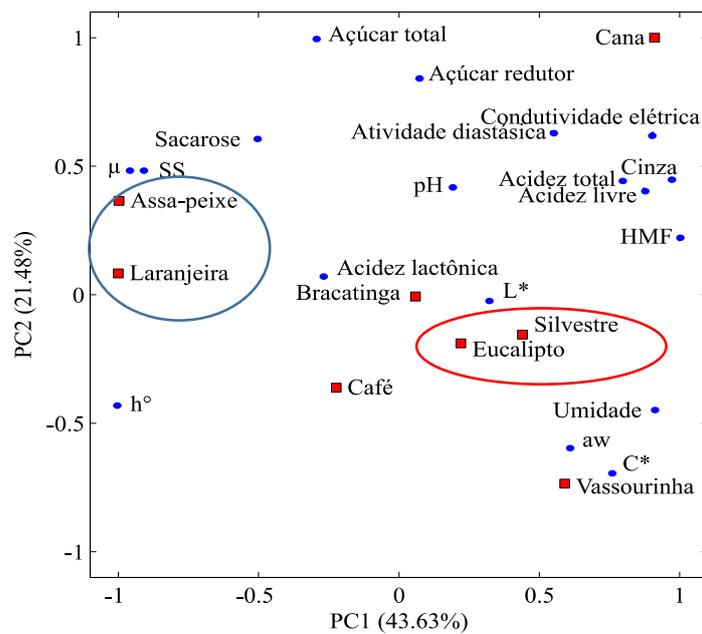
Dentre os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico dos méis, o modelo da Lei de Newton ( $\mu$ , viscosidade Newtoniana - Pa·s) apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, com alto coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 0,9991$ ) e baixos valores de erro do quadrado médio ( $RMSE \leq 0,8892$ ), conforme apresentado na Tabela 2. Silva et al. (2016b) afirmam que, conforme observado em seu estudo com méis brasileiros de diferentes estados e em dados da literatura, o comportamento reológico dos méis é caracterizado como Newtoniano em uma temperatura igual ou superior a 20 °C.

Houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras em relação aos valores de  $\mu$  (Pa·s). Os méis de assa-peixe (27,21 Pa·s) e laranjeira (25,42 Pa·s), seguido do café (19,65 Pa·s), apresentaram as maiores viscosidades, enquanto os méis de cana-de-açúcar (15,23 Pa·s), bracatinga (12,44 Pa·s) e eucalipto (11,13 Pa·s) representaram viscosidades intermediárias. Por fim, os méis silvestre (10,05 Pa·s) e vassourinha (7,48 Pa·s) demonstraram as menores viscosidades. A variação da viscosidade entre os tipos de méis ocorre em consequência à variação natural da composição, especialmente em decorrência do teor de umidade, devido à capacidade da água em diluir as matrizes alimentares (Oroian 2012; Escriche et al. 2017). Tal comportamento representa os dados encontrados, uma vez que as amostras com baixo teor de umidade apresentaram os maiores valores

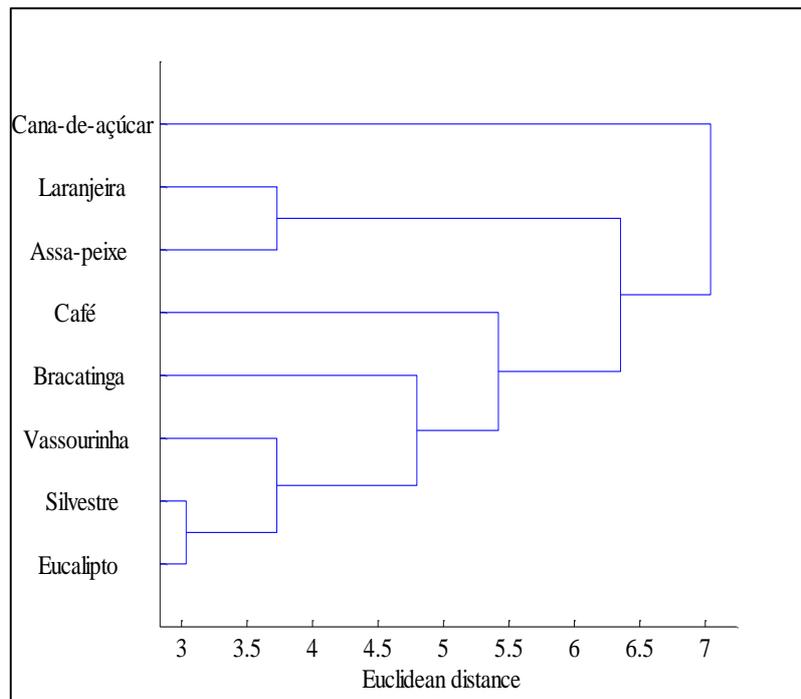
para o parâmetro  $\mu$  e amostras com altos valores de umidade, os menores valores para  $\mu$ , como pode ser claramente observado no PCA (Figura 2).

O reograma mostra a tendência linear da viscosidade, independente do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação, para uma dada temperatura, comportamento típico dos fluidos newtonianos. Estudos apontam valores entre 7,80 a 37,80 (Pa·s) em méis brasileiros (Silva et al. 2016b), e entre 10,80 a 29,10 (Pa·s) em méis poloneses (Witczak et al. 2011).

A Figura 2 apresenta a Análise de Componentes Principais (PCA), com as amostras e atributos avaliados na distribuição espacial, facilitando a visualização dos resultados. Os Componentes Principais (PC1 e PC2) demonstram a porcentagem que é representada os dados, assim, quanto maior, melhor os dados estão representados na configuração espacial, sendo que geralmente acima de 60% é considerável aceitável.



**Figura 2.** Análise de Componentes Principais (PCA) para os parâmetros químicos, físico-químicos e físicos dos diferentes méis. Sólidos Solúveis (SS); Atividade de água (aw); Viscosidade Newtoniana ( $\mu$ ); Hidroximetilfurfural (HMF).



**Figure 3.** Análise de agrupamento obtido para os dados da Análise de Componentes Principais (PCA) para os parâmetros químicos, físico-químicos e físicos dos diferentes méis.

Pela análise visual do PCA, respaldado pela análise de agrupamento (Figura 3), pode-se perceber que os méis avaliados são bem distintos entre si, formando apenas dois grupos de duas amostras cada, que são eles: mel de silvestre e eucalipto (G1) e mel assa-peixe e laranjeira (G2). O restante, apresenta características tão variáveis que são se agrupam entre si.

Embora pela distribuição espacial obtida não fique claro quais as características que levaram exatamente a maior e/ou menor similaridade entre os méis, pode-se perceber pelo PCA (Figura 2) e Tabela 1 que o mel de vassourinha se destaca pela maior  $C^*$  (mais opaco) e maior atividade de água. Este mel, juntamente com o G1 (silvestre e eucalipto) também se destaca pela maior umidade. Já o mel de bracatinga se destacou pelo menor valor de  $L^*$ , sendo no geral mais escuro que as demais amostras de mel. Pode-se verificar que este mel destacou ainda por apresentar uma acidez lactônica intermediária, comparando com os demais. Em relação ao G2 (assa peixe e laranjeira) pode-se verificar que se assemelham por apresentar maior teor de sólidos solúveis, sacarose e maiores valor do ângulo  $h^\circ$  (tonalidade mais amarelada) (Figura 2 e Tabela 1). Além disso, ambas as amostras se destacam das demais apresentando maiores valores de viscosidade (Figura 1 e Figura 2). Já o mel de cana-de-açúcar, que claramente foi o que apresentou a maior

distinção entre os méis, destacou por apresentar maior teor de cinza, condutividade elétrica, acidez livre e total, açúcar redutor total, HMF e atividade diastásica.

### Capacidade antioxidante e fenólicos totais

Os valores médios e desvio padrão da atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e compostos fenólicos totais são apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os méis analisados.

**Tabela 2.** Capacidade antioxidante (ABTS e DPPH) e conteúdo fenólico total dos diferentes méis.

Amostras	ABTS ( $\mu\text{M TEs/g p.f.}$ )	DPPH $\text{EC}_{50}$ (g p.f./g DPPH)	Fenólicos totais (mg AGEs/100 g f. w.)
<b>Méis monoflorais</b>			
Assa-Peixe	24,06 $\pm$ 0,12 <sup>c</sup>	1834,25 $\pm$ 0,57 <sup>a</sup>	102,46 $\pm$ 1,51 <sup>d</sup>
Café	26,44 $\pm$ 0,40 <sup>ab</sup>	1698,97 $\pm$ 0,99 <sup>f</sup>	110,44 $\pm$ 1,83 <sup>c</sup>
Eucalipto	25,00 $\pm$ 0,10 <sup>cd</sup>	1794,24 $\pm$ 1,10 <sup>c</sup>	78,58 $\pm$ 1,21 <sup>f</sup>
Laranjeira	24,33 $\pm$ 0,09 <sup>de</sup>	1801,45 $\pm$ 0,64 <sup>b</sup>	95,58 $\pm$ 0,84 <sup>e</sup>
Vassourinha	26,46 $\pm$ 0,12 <sup>ab</sup>	1693,97 $\pm$ 1,87 <sup>g</sup>	103,14 $\pm$ 1,01 <sup>d</sup>
<b>Mel polifloral</b>			
Silvestre	25,15 $\pm$ 0,13 <sup>c</sup>	1746,43 $\pm$ 0,65 <sup>d</sup>	109,95 $\pm$ 1,43 <sup>c</sup>
<b>Mel de melato</b>			
Bracatinga	26,21 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	1701,12 $\pm$ 1,13 <sup>e</sup>	129,25 $\pm$ 1,24 <sup>a</sup>
<b>Mel extrafloral</b>			
Cana-de-açúcar	27,02 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>	1001,60 $\pm$ 1,95 <sup>h</sup>	118,24 $\pm$ 1,40 <sup>b</sup>

Valor médio  $\pm$  desvio padrão; n = 3. p.f. (peso fresco). As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

A ordem decrescente para ABTS e DPPH foi semelhante, seguindo a disposição descrita: Cana-de-açúcar > Vassourinha > Café > Bracatinga > Silvestre > Eucalipto > Laranjeira > Assa-peixe.

Os compostos fenólicos apresentaram variação entre as amostras, com valores entre 78,58 (eucalipto) e 129,25 mg de AGEs/100 g (bracatinga). Em relação ao mel de melato de bracatinga, Bergamo et al. (2018) avaliaram várias amostras desse tipo de mel e relataram um teor de fenólico máximo de 130,77 mg de AGEs/100 g, resultado próximo ao encontrado neste trabalho. Can et al. (2015) avaliaram diferentes méis florais e relataram uma variação entre as amostras de 16,02 a 105,46 mg de AGEs/100 g, variação também observada em nosso estudo.

Segundo Alvarez-Suarez et al. (2018) e Gauthier et al. (2016) a origem botânica do mel, estações do ano e fatores ambientais podem ter influenciado na variação dos teores de antioxidante e fenólicos das amostras.

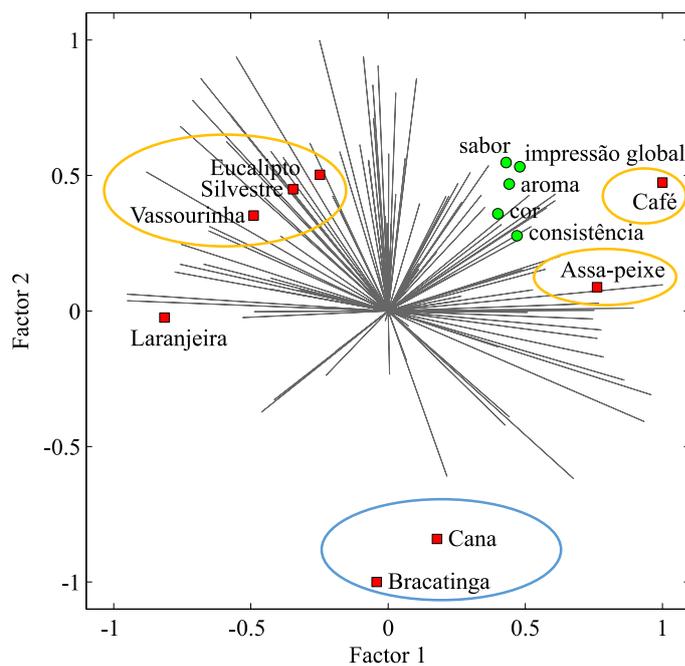
### Análise sensorial

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos resultados das características sensoriais avaliadas. As amostras diferiram entre si ( $p \leq 0,05$ ) para todos os atributos avaliados, com exceção do parâmetro consistência. O Mapa de Preferência interno de Três Vias, no qual se tem a representação de todos os consumidores para todos os atributos avaliados nas amostras de méis, está representado na Figura 4a. Um modelo PARAFAC de dois fatores foi escolhido devido ao seu valor de CORCONDIA (85,09%). Para correlacionar as amostras com os atributos que diferiram estatisticamente no CATA, a análise de correspondência foi realizada (Figura 4b), onde foi possível obter uma discriminação das amostras em relação aos atributos avaliados.

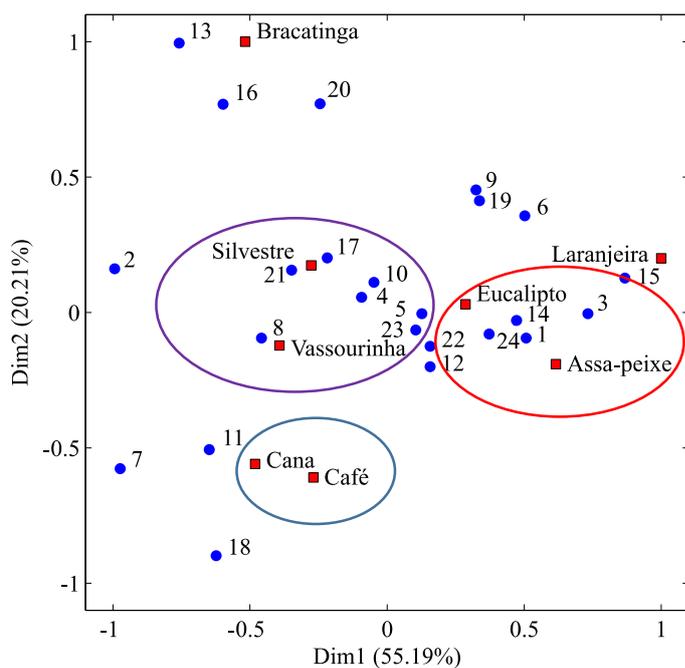
**Tabela 3.** Análise sensorial dos diferentes méis.

Amostras	Cor	Aroma	Sabor	Consistência	Impressão Global
<b>Méis monoflorais</b>					
Assa-Peixe	6,30 ± 1,76 <sup>b</sup>	6,92 ± 1,40 <sup>ab</sup>	6,45 ± 1,88 <sup>a</sup>	7,13 ± 1,50 <sup>a</sup>	6,61 ± 1,48 <sup>ab</sup>
Café	6,99 ± 1,55 <sup>a</sup>	7,01 ± 1,41 <sup>ab</sup>	6,99 ± 1,86 <sup>a</sup>	7,32 ± 1,43 <sup>a</sup>	6,98 ± 1,46 <sup>a</sup>
Eucalipto	7,29 ± 1,28 <sup>a</sup>	7,31 ± 1,29 <sup>a</sup>	7,10 ± 1,74 <sup>a</sup>	6,99 ± 1,50 <sup>a</sup>	7,15 ± 1,37 <sup>a</sup>
Laranjeira	6,07 ± 1,72 <sup>b</sup>	6,51 ± 1,48 <sup>bc</sup>	6,48 ± 1,89 <sup>a</sup>	7,27 ± 1,34 <sup>a</sup>	6,61 ± 1,60 <sup>ab</sup>
Vassourinha	7,02 ± 1,47 <sup>a</sup>	6,81 ± 1,43 <sup>ab</sup>	6,54 ± 1,92 <sup>a</sup>	6,84 ± 1,56 <sup>a</sup>	6,61 ± 1,71 <sup>ab</sup>
<b>Mel polifloral</b>					
Silvestre	7,38 ± 1,30 <sup>a</sup>	7,20 ± 1,36 <sup>a</sup>	6,43 ± 1,91 <sup>ab</sup>	7,37 ± 1,25 <sup>a</sup>	6,73 ± 1,67 <sup>ab</sup>
<b>Mel de melato</b>					
Bracatinga	7,21 ± 1,56 <sup>a</sup>	6,41 ± 1,63 <sup>bc</sup>	4,67 ± 2,33 <sup>c</sup>	6,82 ± 1,56 <sup>a</sup>	5,61 ± 1,91 <sup>c</sup>
<b>Mel extrafloral</b>					
Cana-de-açúcar	6,28 ± 1,99 <sup>b</sup>	6,04 ± 1,79 <sup>c</sup>	5,59 ± 2,16 <sup>b</sup>	7,20 ± 1,36 <sup>a</sup>	6,21 ± 1,67 <sup>bc</sup>

Valor médio ± desvio padrão com base no peso do mel; n = 100. As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).



(a)



(b)

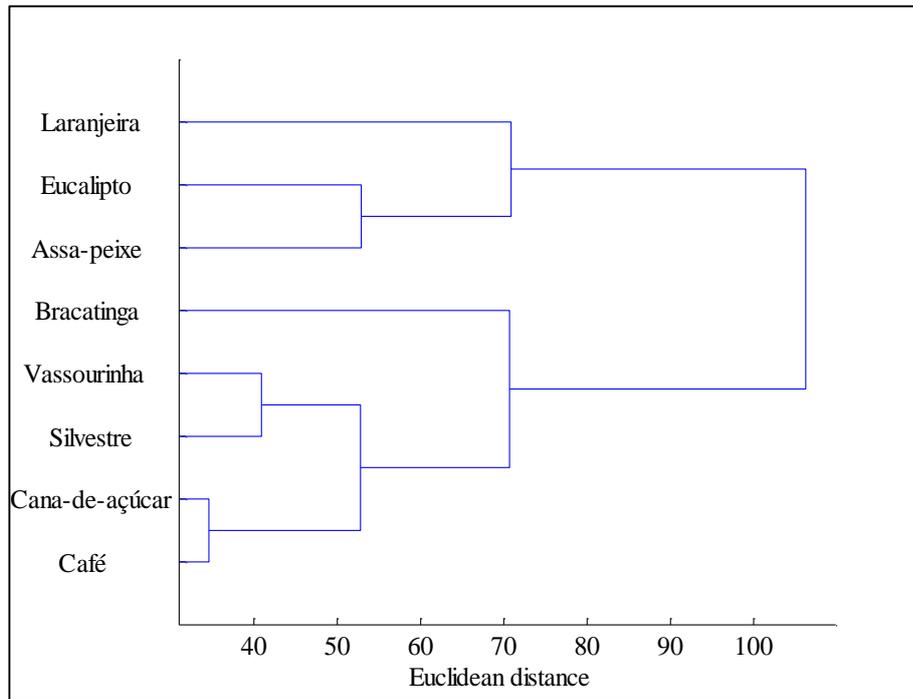
**Figura 4.** Mapa de Preferência interno de Três Vias para cor, aroma, sabor, consistência e impressão global (a) e análise de correspondência para *check-all-that-apply* (CATA) (b) dos diferentes méis.

Legenda: 1: amarelo, 2: marrom, 3: translúcido; 4: brilhante; 5: aroma adocicado; 6: aroma floral; 7: aroma de queimado; 8: aroma caramelizado; 9: aroma de ervas; 10: aroma de própolis; 11: aroma de melado; 12: gosto doce; 13: gosto amargo; 14: sabor frutado; 15: sabor floral; 16: sabor alcoólico; 17: sabor de própolis; 18: sabor de rapadura; 19: sabor de ervas; 20: sabor adstringente; 21: líquido; 22: viscoso; 23: aveludado; 24: consistente.

Devido a grande variabilidade entre as características físicas, químicas e físico-químicas, era esperado que os méis apresentassem distintas características sensoriais e conseqüentemente aceitabilidade. Em relação a aceitação sensorial, embora todas as amostras tenham apresentado boa aceitação sensorial, com escores médios variando entre os termos hedônicos “gostei ligeiramente” e “gostei muito”, foi observado diferença significativa entre todos os parâmetros avaliados, com exceção do parâmetro consistência (Tabela 3). De acordo com a Tabela 3 e Figura 4a, foi possível observar que a melhor aceitação e preferência do consumidor foram pelos méis florais (assa-peixe, café, eucalipto, silvestre e vassourinha). O mel de laranjeira apresentou aceitação intermediária, enquanto que o mel de bracatinga e cana-de-açúcar foram os menos aceitos pelos provadores.

Em relação ao CATA, o teste Q de Cochran detectou diferenças significativas entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ), exceto os atributos de aparência (opaco e bolhas de ar), sabor (cera e refrescante) e consistência (cremoso e liso), que não apresentaram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) (Tabela 4).

Pela análise de correspondência realizada para os atributos significativos do CATA, pode-se verificar pela Figura 4b e análise de agrupamento (Figura 5) que as amostras formaram três grupos distintos, a saber: mel de cana-de-açúcar e café (G1), mel silvestre e vassourinha (G2) e mel de eucalipto e assa-peixe (G3). O mel de bracatinga que esteve entre os méis menos aceitos destacou por apresentar gosto amargo, alcoólico e adstringente (13, 16 e 20), podendo então estes atributos serem relacionados a características indesejáveis pelos consumidores. Já o mel de cana-de-açúcar, que também teve a menor aceitação e se assemelhou ao mel de café, que esteve entre os mais aceitos. Os atributos que caracterizaram este grupo são o aroma de queimado e melado, e sabor de rapadura (7, 11 e 18) que não podem ser com segurança relacionado com características desejáveis ou indesejáveis ao mel. O mel de laranjeira, que apresentou aceitação intermediária destacou pelos atributos de aroma e sabor floral e de ervas. Já os grupos G2 (silvestre e vassourinha) e G3 (eucalipto e assa-peixe), foram os méis mais aceitos, sendo que no grupo G2 o mel de vassourinha foi caracterizado pelos atributos de aroma caramelizado e doce e o mel silvestre pelas características de aroma e sabor da própolis, bem como ambos apresentaram características em comum tais como aspecto brilhante e aveludado, com consistência líquida. O grupo G3 foi caracterizado pelos atributos de coloração amarela e translúcida, gosto doce e sabor frutado, com aspecto consistente e viscoso.



**Figura 5.** Análise de agrupamento obtido para os dados do teste CATA dos diferentes méis.

**Tabela 4.** Citação dos atributos sensoriais associados a cada amostra de méis pelos consumidores (n = 100) no questionário CATA.

Atributos	Méis monoflorais				Mel polifloral				P-valor*
	Assa-Peixe	Café	Eucalipto	Laranjeira	Vassourinha	Silvestre	Bracatinga	Cana-de-açúcar	
Amarelo	81	51	89	71	32	32	35	36	$<2,2e^{-16}$
Marrom	0	42	14	3	70	69	66	61	$<2,2e^{-16}$
Translúcido	58	30	41	72	24	24	22	20	$<2,2e^{-16}$
Brilhante	44	48	63	41	47	53	56	50	0,02889
Opaco	7	5	6	7	15	13	6	11	0,07211
Bolhas de ar	57	54	52	53	51	55	63	53	0,6452
Aroma doce	59	47	70	56	54	65	40	50	0,0001511
Aroma floral	39	13	28	52	23	26	32	15	$6,857e^{-10}$
Aroma de queimado	2	18	6	0	13	6	14	31	$1,258e^{-12}$
Aroma caramelizado	11	25	24	8	28	28	22	26	0,0008652
Aroma de ervas	9	4	8	19	9	5	15	9	0,004746
Aroma de própolis	29	26	39	17	25	30	30	19	0,01129
Aroma de melado	15	34	13	2	27	22	18	37	$4,27e^{-10}$
Gosto doce	74	59	79	66	65	64	34	62	$5,493e^{-10}$
Gosto amargo	6	8	10	6	17	15	50	18	$<2,2e^{-16}$
Sabor frutado	25	11	18	30	20	23	7	12	0,0001294
Sabor floral	20	10	14	51	15	10	8	16	$<2,2e^{-16}$
Sabor alcoólico	8	11	10	2	9	22	28	6	$8,761e^{-09}$
Sabor de própolis	17	25	32	16	26	36	31	18	0,002467
Sabor de rapadura	23	47	10	1	38	15	11	47	$<2,2e^{-16}$
Sabor de ervas	5	8	4	20	6	6	13	7	0,00051
Sabor de cera	10	10	11	12	9	10	7	8	0,9509
Sabor refrescante	10	7	5	13	6	11	5	6	0,207
Sabor adstringente	8	3	6	5	9	7	17	4	0,006829
Cremoso	40	36	34	29	31	43	35	35	0,388
Líquido	12	15	34	9	40	19	26	17	$4,961e^{-09}$
Viscoso	43	44	34	52	32	31	34	42	0,009887
Aveludado	11	11	9	17	13	23	6	10	0,006502
Consistente	33	21	17	42	22	25	16	24	$5,832e^{-05}$
Liso	33	36	37	25	29	32	39	38	0,2636

\*P-valor  $\geq 0,05$  indica que não há diferença significativa.

## **Conclusões**

Todos os méis apresentaram conformidade com as legislações vigentes quando foram estabelecidos os limites para os parâmetros físico-químicos. Quanto ao parâmetro de cor, o mel da cana-de-açúcar foi caracterizado como de coloração alaranjada quando comparado aos demais. Todos os méis apresentaram comportamento reológico Newtoniano, em que os méis monoflorais de assa-peixe, laranjeira e café apresentaram as maiores viscosidade, confirmando a importante influência da umidade neste parâmetro. O mel da cana-de-açúcar se destacou por estar entre os méis com a maior atividade antioxidante, enquanto o mel de melato de bracatinga se destacou em relação aos compostos fenólicos. Em relação à análise sensorial, os méis florais apresentaram maior aceitabilidade em comparação aos demais méis. Por meio do CATA, foi possível identificar os atributos que podem ter influenciado negativamente na aceitação dos méis de melato (sabor amargo, alcoólico e adstringente) e extrafloral (aroma de queimado). Portanto, as características dos méis são diretamente influenciadas pelas origens botânicas de cada tipo, a ponto de contribuir para sua diferenciação.

## **Agradecimentos**

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. Os autores desejam agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Brasil (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

## **Conflito de interesse**

Nenhum potencial conflito de interesses foi relatado pelos autores.

## **Referências**

Ahmed M, Djebli N, Aissat S, Khiati B, Meslem A, Bacha S. 2013. In vitro activity of natural honey alone and in combination with curcuma starch against *Rhodotorula mucilaginosa* in correlation with bioactive compounds and diastase activity. *Asian Pac J Trop Biomed.* 3:816–821.

- Alvarez-Suarez JM, Giampieri F, Brenciani A, Mazzoni L, Gasparrini M, González-Paramás AM, Santos-Buelga C, Morroni G, Simoni S, Forbes-Hernández TY. et al. 2018. Apis mellifera vs Melipona beecheii Cuban polyfloral honeys: A comparison based on their physicochemical parameters, chemical composition and biological properties. *LWT-Food Sci and Technol.* 87:272–279.
- AOAC. 2012. Official methods of analysis of AOAC International. 19th edn. Gaithersburg: AOAC International.
- Azevedo MS, Seraglio SKT, Rocha G, Balderas CB, Piovezan M, Gonzaga LV, Falkenberg DB, Fett R, Oliveira MAL, Costa ACO. 2017. Free amino acid determination by GC-MS combined with a chemometric approach for geographical classification of bracatinga honeydew honey (*Mimosa scabrella* Benth). *Food Control.* 78:383–392.
- Barth OM. 2004. Melissopalynology in Brazil: a review of pollen analysis of honeys, propolis and pollen loads of bees. *Sci. Agric.* 61:342–350.
- Bergamo G, Seraglio SKT, Gonzaga LV, Fett R, Costa ACO. 2018. Physicochemical characteristics of bracatinga honeydew honey and blossom honey produced in the state of Santa Catarina: An approach to honey differentiation. *Food Res Int.* 116:745–754.
- Bogdanov S. 2009. Harmonised Methods of the European Honey Commission. 3rd edn. Bremen: IHC.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Sci and Technol.* 28(1):25–30.
- BRASIL. Ministério da agricultura e abastecimento. 2000. Instrução Normativa n.º 11, de 20 de outubro de 2000. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out. 2000.* Available from: <http://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/IN-11-de-2000.pdf>
- Can Z, Yildiz O, Sahin H, Akyuz Turumtay E, Silici S, Kolayli S. 2015. An investigation of Turkish honeys: Their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chem.* 180:133–141.
- Codex Alimentarius. 2001. CODEX Standard for Honey - Codex Stan 12-1981. Available from: [http://www.fao.org/input/download/standards/310/cxs\\_012e.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/310/cxs_012e.pdf)
- Escriche I, Kadar M, Juan-Borrás M, Domenech E. 2014. Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food Chem.* 142, 135–143.

- Escriche I, Tanleque-alberto F, Visquert M, Oroian M. 2017. Physicochemical and rheological characterization of honey from Mozambique. *LWT - Food Sci and Technol.* 86:108–115.
- Estevinho LM, Rodrigues S, Pereira AP, Feás X. 2012. Portuguese bee pollen: Palynological study, nutritional and microbiological evaluation. *Int J of Food Sci Tech.* 47(2):429–435.
- FAO. 2019. Production of Honey, natural in World. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL/visualize>
- Finola MS, Lasagno MC, Marioli JM. 2007. Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. *Food Chem.* 100(4):1649–1653.
- Gauthier M, Aras P, Jumarie C, Boily M. 2016. Low dietary levels of Al, Pb and Cd may affect the non-enzymatic antioxidant capacity in caged honey bees (*Apis mellifera*). *Chemosphere.* 144:848–854.
- Gomes S, Dias LG, Moreira LL, Rodrigues P, Estevinho L. 2010. Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food Chem Toxicol.* 48(2):544–548.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Perfil da Pecuária Municipal Available from: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2016/default\\_xls\\_perfil.sht](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2016/default_xls_perfil.sht)
- Kadri SM, Zaluski R, Pereira Lima GP, Mazzafera P, Oliveira Orsi R 2016. Characterization of *Coffea arabica* monofloral honey from Espírito Santo, Brazil. *Food Chem.* 203:252–257.
- Kahraman T, Buyukunal SK, Vural A, Altunatmaz SS. 2010. Physico-chemical properties in honey from different regions of Turkey. *Food Chem.* 123: 41–44.
- Larrauri JA, Rupérez P, Saura-Calixto F. 1997. Effect of Drying Temperature on the Stability of Polyphenols and Antioxidant Activity of Red Grape Pomace Peels. *J Agri Food Chem.* 45(4):1390–1393.
- Machado De-Melo AA, Almeida-Muradian LB, Sancho MT, Pascual-Maté A. 2017. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *J Apic Res.* 57(1):5–37.
- Maldonade IR, Carvalho PGB, Ferreira N, Moulin BSF. 2013. Protocolo para determinação de açúcares redutores pelo método de Somogyi-Nelson. Brasília: Embrapa Hortaliças.

- Mendonça K, Marchini LC, Souza BA, Almeida-Anacleto D, Moreti ACCC. 2008. Caracterização físico-química de amostras de méis produzidas por *Apis mellifera* L. em fragmento de cerrado no município de Itirapina, São Paulo. *Ciênc Rural*. 38(6):1748–1753.
- Meyners M, Castura JC. 2014. Check-all-that apply questions. In: *Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling* (edited by Varela P, Ares G). Pp. 271–306. Boca Raton: CRC Press.
- Nunes CA, Pinheiro ACM, Bastos SC. 2011. Evaluating Consumer Acceptance Tests by Three-Way Internal Preference Mapping Obtained by Parallel Factor Analysis (PARAFAC). *J Sens Stud*. 26(2):167–174.
- Oroian M. 2012. Physicochemical and Rheological Properties of Romanian Honeys. *Food Biophys*. 7(4):296–307.
- Pinheiro ACM, Nunes CA, Vietoris V. SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. *Ciênc Agrot*. 37(3):199–201, 2013.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical. *Free Radical Bio Med*. 26(9/10):1231–1237.
- Ribeiro ROR, Mársico ET, Carneiro CS, Monteiro MLG, Conte Júnior CA, Mano S, Jesus EFO. 2014. Classification of Brazilian honeys by physical and chemical analytical methods and low field nuclear magnetic resonance (LF 1H NMR). *LWT-Food Sci Technol*. 55:90–95.
- Salvador L, Guijarro M, Rubio D, Aucatoma B, Guillén T, Vargas Jentzsch P, Ciobotă V, Stolker L, Ulic S, Vásquez L. et al. 2019. Exploratory Monitoring of the Quality and Authenticity of Commercial Honey in Ecuador. *Foods*. 8(3):E105.
- Saxena S, Gautam S, Sharma A. 2010. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food Chem*. 118:391–397.
- Silva LR, Videira R, Monteiro AP, Valentão P, Andrade PB. 2009. Honey from Luso region (Portugal): physicochemical characteristics and mineral contents. *Microchem J*. 93(1):73–77.
- Silva PM, Gauche C, Gonzaga LV, Costa ACO, Fett R. 2016a. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chem*. 196:309–323.
- Silva VM, Carvalho LA, Oliveira NL, Torres Filho RDA, Resende JV. 2016b. Rheological and Thermal Properties of Selected Brazilian Honeys from Various Floral Origins. *J Texture Stud*. 47(1):208–219.

- Sousa JMB, Souza EL, Marques G, Benassi MT, Gullón B, Pintado MM, Magnani M. 2016. Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT-Food Sci Technol.* 65:645–651.
- Stone H, Bleibaum R, Thomas HA. 2012. *Sensory Evaluation Practices*. 4th edn. New York: Academic Press.
- Terrab A, Díez MJ, Heredia FJ. 2002. Characterisation of Moroccan unifloral honeys by their physicochemical characteristics. *Food Chem.* 79:373–379.
- Terrab A, Recamales AF, Hernanz D, Heredia FJ. 2004. Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents. *Food Chem.* 88:537–542.
- Waterhouse AL. 2002. Determination of Total Phenolics. In: *Current Protocol in Food Analytical Chemistry* (edited by Wiley Brand). P. I1.1.1-I1.1.8. New York: John Wiley & Sons.
- Witczak M, Juszczak L, Gałkowska D. 2011. Non-Newtonian behaviour of heather honey. *J Food Eng.* 104(4):532–537.
- Zheng Y, Wu M, Han F, Wu D, Fu L. 2019. Evaluation of total antioxidant activity of different floral sources of honeys using crosslinked hydrogels. *Int J Electrochem Sci.* 14(2):1479–1487.

## **ARTIGO 2 - EFEITO DA ORIGEM BOTÂNICA NA ESTABILIDADE E CRISTALIZAÇÃO DO MEL DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Normas da ABNT  
(versão preliminar)

Maria Cecília Evangelista Vasconcelos Schiassi<sup>1\*</sup>, Vanessa Rios de Souza<sup>1</sup>, Nathila Angela Alves<sup>1</sup>, Amanda Maria Teixeira Lago<sup>1</sup>, Sérgio Henrique Silva<sup>1</sup>, Gabriel Ribeiro Carvalho<sup>1</sup>, Jaime Vilela de Resende<sup>1</sup>, e Fabiana Queiroz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 37200-900, Brasil.

\*Autor correspondente: Maria Cecília Evangelista Vasconcelos Schiassi, Campus Universitário, Laboratório de Pesquisa em Química e Conservação de Alimentos, Caixa Postal 3037, 37200-900, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Tel: (+55) (35) 988183355; E-mail: vasconcelosmariaufila@gmail.com.

## **Resumo**

A origem (botânica e geográfica) e a composição dos méis, em especial a concentração de açúcares (frutose (F) e glicose (G)), umidade (U) e viscosidade, são alguns dos fatores que mais influenciam na taxa de cristalização e fazem com que os méis apresentem um comportamento distinto durante o armazenamento. O conhecimento do comportamento de cristalização do mel obtido a partir de diversas fontes é de grande importância e interesse para a indústria, apicultores e consumidores. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da origem botânica sobre as características de méis monoflorais (assa-peixe, café, eucalipto, laranjeira e vassourinha), polifloral (silvestre), extrafloral (cana-de-açúcar) e de melato (bracatinga) durante o armazenamento. Para tanto, os méis foram armazenados a 14 °C, e as análises de atividade de água, cor, absorvância, comportamento reológico e análise microscópica foram realizadas durante os 6 meses (T0, T30, T60, T90, T120, T150 e T180 dias); a quantificação dos açúcares (frutose e glicose), umidade, relação F/G e G/U apenas no T0. Em geral, todos os méis apresentaram mudanças durante a estocagem, e o mel de cana-de-açúcar se destacou por apresentar maior cristalização, influenciada pelo alto conteúdo de glicose e de frutose. O mel de café apresentou a menor cristalização. A cristalização dos méis influenciaram elevando a atividade de água, a viscosidade Newtoniana, a cor e absorvância. A composição dos méis influenciou diretamente o processo de cristalização durante o armazenamento.

**Palavras-chave:** Cristalização. Mel. Caracterização. Armazenamento.

## 1 Introdução

O mel é uma solução supersaturada composta principalmente por glicose e frutose (NURUL ZAIZULIANA et al., 2017), sendo que sua composição bioquímica é muito variável e são influenciados principalmente pela florada oriunda, condições climáticas e origem geográfica (SILVA et al., 2016).

A cristalização, é um processo natural que ocorre de maneira espontânea no mel (DETTORI et al., 2018), é um fenômeno de transferência de massa que gera a formação de uma interface sólido-líquido (MARANGONI; WESDORP, 2013). Alguns fatores influenciam a taxa de cristalização, como a composição do açúcar, o teor de água, o grau de supersaturação e a viscosidade dos méis durante o armazenamento (DETTORI et al., 2018). A temperatura de armazenamento também influencia na cristalização do mel (NURUL ZAIZULIANA et al., 2017), devido o efeito na solubilidade dos açúcares e na viscosidade do mel. Uma diminuição da temperatura eleva a supersaturação do açúcar e a viscosidade do mel, sendo que, o aumento da supersaturação favorece a cristalização, enquanto que, a elevação da viscosidade, tem efeito contrário neste processo. Segundo diversos autores a taxa de cristalização do mel é máxima entre 10 e 15 °C (COSTA et al., 2015; NURUL ZAIZULIANA et al., 2017; ZAMORA; CHIRIFE, 2006). Nesta faixa de temperatura o efeito da supersaturação prevalece sob o efeito da viscosidade, favorecendo a cristalização, sendo que acima e abaixo dessa faixa de temperatura, tem-se taxas de cristalização menores.

Em condições controladas, a cristalização é utilizada para a produção de mel cremoso (formação de um grande número de cristais de açúcares muito pequenos e finos), no entanto, quando ocorre de maneira descontrolada pode ocasionar uma cristalização desuniforme (KARASU et al., 2015), fazendo com que esse processo seja indesejável, pois o produto torna-se menos atrativo ao consumidor, uma vez que se torna opaco, arenoso e semissólido (COSTA et al., 2013). A cristalização também pode ocasionar alguns problemas para a indústria, pois com a alteração da viscosidade do mel ocorre dificuldade de manipulação, fracionamento e envase do produto, além de comprometer o funcionamento adequado de alguns equipamentos, tais como os dosadores e máquina de envase. As máquinas podem não funcionar adequadamente devido à alta viscosidade, ‘aderência’ e complexidade do fluido (KABBANI; SEPULCRE; WEDEKIND, 2011; TOSI et al., 2002).

O Brasil possui flora diversificada, variação climática e ampla extensão territorial, apresentando um alto potencial para a produção de méis com diferentes composições e

características (ALMEIDA FILHO et al., 2011), o que possibilita sua produção ao longo do ano. O mel pode ser obtido através do néctar coletado de flores (méis florais), tais como os méis de assa-peixe (*Vernonia polysphaera*), café (*Coffea* spp.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), laranjeira (*Citrus sinensis*), vassourinha (*Baccharis* spp.) e silvestre. Além dos méis florais, existem os méis de melato, produzidos por meio de secreções de partes vivas de plantas ou excreções produzidas por insetos sugadores de seiva, tendo como exemplo o mel de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) (ZHENG et al., 2019). No Brasil, há também o mel extrafloral, denominado mel de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), elaborado pelas abelhas a partir da colheita da seiva de açúcar que brota do bagaço de cana-de-açúcar após o corte (BARTH, 2004).

Avaliar méis de diferentes origens botânicas ao longo do armazenamento é uma questão de grande interesse tanto para os consumidores quanto para os apicultores e indústrias, uma vez que cada tipo de mel cristaliza de maneira e períodos diferentes. Com este propósito, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da origem botânica nas características físicas, físico-químicas, reológicas e microscópicas de méis durante o armazenamento a 14 °C por 180 dias.

## **2 Material e métodos**

### **2.1 Amostras de mel**

Os méis de assa-peixe (*Vernonia polysphaera*), bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham), café (*Coffea* spp.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.), laranjeira (*Citrus sinensis*), silvestre e vassourinha (*Baccharis dracunculifolia* DC.) foram adquiridos em um apiário localizado no município de São Lourenço, Minas Gerais (MG), Brasil. Foi informado pelo fabricante que todos os méis foram coletados (safra de 2018), centrifugados, filtrados, embalados em tubos de polietileno transparente de 300 g e armazenados em temperatura ambiente.

### **2.2 Preparo das amostras**

Para se realizar o estudo de cristalização inicialmente os méis foram aquecidos em banho-maria digital (modelo WARMS1, 3L Araucária, PR, Brasil) a 40 °C por 60 min (KABBANI; SEPULCRE; WEDEKIND, 2011), a fim de garantir a total eliminação de possíveis cristais que pudessem estar presentes nas amostras. Os méis foram deixados a temperatura ambiente por 30 min e, posteriormente, foi realizada a análise microscópica,

utilizando o microscópico óptico (Meiji Techno Co. LTD., modelo ML 2000 Microscope, Tokyo, Japão), para confirmar a ausência de cristais nas amostras.

Para armazenamento dos méis foram utilizados frascos de vidro transparente com tampa (200 mL) e em cada frasco foram adicionados 150 mL de mel para cada tempo (T0, T30, T60, T90, T120, T150 e T180 dias) e, em seguida, os frascos contendo os méis foram armazenados em incubadora refrigerada tipo B.O.D (SOLAB, modelo SL 200/300, Piracicaba, SP, Brasil) a temperatura de 14 °C.

## **2.3 Caracterização dos méis**

A quantificação de açúcares (glicose e frutose) foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC Prominence System, Shimadzu Scientific Instruments, Flórida, United States) de acordo com Bogdanov (2009). Amostras para análise de HPLC foram preparadas dissolvendo 1 g de mel em 9 mL de água ultrapura e a mistura foi filtrada utilizando filtro de seringa de 0,45 µm (Filtrilo, Paraná, PR, Brasil). O filtrado foi injetado no HPLC, equipado com um detector de índice de refração (RID-10A Shimadzu). Uma coluna Supelcogel 8H (7,8 mm x 30 cm) foi utilizada e as condições para o HPLC foram definidas da seguinte forma: fase móvel, ácido sulfúrico 5 mM (bomba LC 20AT Shimadzu); vazão, 0,5 mL/min; volume injetado, 20 µL (injetor SIL 20A Shimadzu); e temperatura da coluna, 30 °C. Por fim, a glicose e frutose foram identificadas de acordo com seus tempos de retenção, em comparação aos padrões de açúcares, e suas concentrações calculadas por meio da curva de calibração para cada açúcar.

O teor de umidade foi mensurado utilizando o refratômetro portátil (Instrutherm, modelo RT 280, São Paulo, Brasil) (AOAC, 2012) e o índice de refração foi determinado e convertido em teor de umidade através da tabela de referência (Chataway) e os resultados foram expressos em porcentagem. As razões frutose/glicose (F/G) e glicose/umidade (G/U) também foram calculadas com a finalidade de avaliar a tendência de cristalização do mel.

## **2.4 Avaliação dos méis durante o armazenamento**

### **2.4.1 Análises físicas e físico-químicas**

A atividade de água ( $a_w$ ) foi mensurada utilizando o Aqualab (modelo CX2 T, Decagon Devices Inc., Pullman, USA) a  $25 \pm 0,3$  °C. A cor foi analisada utilizando um colorímetro instrumental (modelo CM5, espectrofotômetro Konica Minolta, São Paulo,

SP, Brasil), operando no sistema de cores CIELab, em que foram avaliados os parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ , onde:  $L^*$  (luminosidade) varia de 100 (cem) para superfícies brancas puras a 0 (zero) para superfícies pretas puras;  $C^*$  = saturação e  $h^\circ$  = tonalidade. As diferenças ( $\Delta E$ ) nos tempos estudado em relação ao tempo inicial entre os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  (intensidade de vermelho (+) e verde (-)) e  $b^*$  (intensidade de amarelo (+) e azul (-)) foram obtidas de acordo com a Eq. 1:

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (1)$$

Na análise de absorvância o mel foi colocado em uma cubeta com comprimento de 1 cm e a absorvância foi medida a 660 nm à temperatura ambiente em espectrôfotometro (VIS 325-1,000 nm, modelo Biospectro SP-22, São Paulo, Brasil) de acordo com a metodologia proposta por Lupano (1997).

#### 2.4.2 Comportamento reológico

O comportamento reológico das amostras foi determinado a 14 °C (temperatura de armazenamento) em reômetro rotacional de cilindros concêntricos Brookfield (modelo DV III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, USA), utilizando o spindle SCA-29, equipado com banho termostático (modelo EX 200 Brookfield, Brookfield Engineering Laboratories) acoplado ao cilindro encamisado para a estabilização da temperatura. Cada amostra foi submetida a uma rampa crescente de taxa de deformação (0 a 30 s<sup>-1</sup>) durante 6 minutos de ensaio e foram registrados 18 pontos. Os modelos Lei de Newton (Eq. 2), Lei da Potência (Eq. 3) e *Herschel-Bulkley* (Eq. 4) foram ajustados aos dados experimentais.

$$\sigma = \mu \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\sigma = k \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

$$\sigma = \sigma_0 + k \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento (Pa),  $\mu$  é a viscosidade Newtoniana (Pa·s),  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>),  $k$  é o índice de consistência (Pa·s<sup>n</sup>),  $n$  é o índice de comportamento do fluxo (adimensional) e  $\sigma_0$  é o tensão inicial de escoamento (Pa).

### 2.4.3 Análise microscópica

O estado morfológico e o processo de cristalização das diferentes amostras de mel foram diretamente observados em microscópio óptico (Meiji Techno Co., LTD., modelo ML 2000 Microscope, Tokyo, Japão) com luz polarizada. Uma alíquota de cada amostra foi colocada na lâmina, coberta com uma lamínula e examinada com lentes objetivas em uma ampliação de 10x e fotografados com câmera (Cole Parmer; modelo 49901-35 PAL Color Video Camera, Taiwan, China).

## 2.5 Análise estatística

A caracterização dos méis (frutose, glicose, umidade e razões F/G e G/U) foram avaliadas no tempo zero. Já as análises de atividade de água, cor e absorvância foram realizadas durante os 6 meses (T0, T30, T60, T90, T120, T150 e T180 dias). O comportamento reológico que seria avaliado durante os 6 meses de armazenamento, teve que ser investigado apenas por 3 meses (T0, T30, T60 e T90 dias) uma vez que devido ao aumento da cristalização de todas as amostras ao longo do armazenamento, não foi possível realizar a análise reológica nos tempos 120, 150 e 180 dias. A análise microscópica foi realizada durante os 6 meses de armazenamento (T0, T30, T60, T90, T120, T150 e T180 dias) porém selecionamos os tempos de 120 e 180 dias para apresentar no artigo uma vez que foram nestes tempos que houve melhor visualização das diferenças da aparência dos cristais formados entre diferentes méis estudados.

Os resultados das análises para caracterização dos méis e da análise colorimétrica foram analisados por análise de variância (ANOVA) e teste de média (Tukey,  $p \geq 0,05$ ) com o auxílio do software SensoMaker v. 1.91 (UFLA, Lavras, MG, Brasil, 2017). A Análise de Componentes Principais foi aplicada aos dados físicos (cor e absorvância) e físico-químicos (atividade de água), e com o objetivo de facilitar a visualização dos resultados, foi utilizado apenas os dados dos tempos 0, 60 e 180 dias. Os dados foram organizados em uma matriz de correlação de  $i$  linhas (8 amostras) e  $j$  colunas (5 parâmetros), e submetidos ao PCA utilizando o software Sensomaker v. 1.91.

Os modelos reológicos (equações 1, 2 e 3) foram ajustados aos dados experimentais das curvas de fluxo utilizando o pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS University Edition, Cary, EUA, 2016). Além disso, as equações de regressão foram ajustadas aos dados para avaliar o efeito do tempo nos parâmetros (viscosidade Newtoniana, atividade da água e absorvância). A análise de variância (ANOVA) foi usada para examinar a significância estatística dos termos nas equações de

regressão utilizando a SAS University, foi comparado o ajuste do modelo linear e quadrático e foi realizado a análise de resíduos do modelo ajustado. O critério para selecionar o melhor modelo foi baseado no coeficiente de determinação e na significância do coeficiente. O teste de correlação de Pearson foi realizado para determinar a correlação entre essas variáveis estudadas (RODRIGUES; LEMMA, 2014).

### 3 Resultado e discussão

#### 3.1 Caracterização das amostras

A Tabela 1 apresenta o teor de açúcares (frutose e glicose), umidade e as razões F/G (frutose/glicose) e G/U (glicose/umidade) presente em méis de diferentes origens botânicas.

Tabela 1 – Teor de açúcares (frutose e glicose), umidade e a razões F/G e G/U presente em méis de diferentes origens botânicas.

Amostras	Frutose (%)	Glicose (%)	Umidade (%)	F/G	G/U
<b>Méis monoflorais</b>					
Assa-peixe	35,02±0,02 <sup>d</sup>	29,15±0,02 <sup>c</sup>	16,40±0,00 <sup>c</sup>	1,20±0,00 <sup>d</sup>	1,78±0,00 <sup>a</sup>
Café	36,43±0,02 <sup>b</sup>	29,58±0,02 <sup>b</sup>	17,60±0,35 <sup>b</sup>	1,23±0,00 <sup>c</sup>	1,68±0,03 <sup>b</sup>
Eucalipto	28,88±0,01 <sup>f</sup>	24,07±0,01 <sup>f</sup>	18,53±0,23 <sup>a</sup>	1,20±0,00 <sup>d</sup>	1,30±0,02 <sup>d</sup>
Laranjeira	32,99±0,02 <sup>e</sup>	26,06±0,01 <sup>e</sup>	17,07±0,23 <sup>bc</sup>	1,27±0,00 <sup>a</sup>	1,53±0,02 <sup>c</sup>
Vassourinha	35,67±0,01 <sup>c</sup>	28,82±0,01 <sup>d</sup>	19,20±0,35 <sup>a</sup>	1,24±0,00 <sup>b</sup>	1,50±0,03 <sup>c</sup>
<b>Mel polifloral</b>					
Silvestre	25,19±0,01 <sup>h</sup>	21,46±0,01 <sup>h</sup>	18,53±0,23 <sup>a</sup>	1,17±0,00 <sup>f</sup>	1,16±0,01 <sup>e</sup>
<b>Mel de melato</b>					
Bracatinga	28,51±0,01 <sup>g</sup>	23,90±0,03 <sup>g</sup>	18,53±0,22 <sup>a</sup>	1,19±0,00 <sup>e</sup>	1,29±0,01 <sup>d</sup>
<b>Mel extrafloral</b>					
Cana-de-açúcar	38,28±0,01 <sup>a</sup>	32,57±0,01 <sup>a</sup>	19,20±0,34 <sup>a</sup>	1,17±0,00 <sup>f</sup>	1,70±0,03 <sup>b</sup>

Os resultados são expressos como valor médio ± desvio padrão (n = 3).

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste *Tukey* ( $p > 0,05$ ).

F/G = frutose/glicose; G/U = glicose/umidade.

Os principais carboidratos do mel são a frutose e a glicose (DETTORI et al., 2018), e conforme apresentado na Tabela 1, os méis apresentaram diferença estatística significativa ( $p \leq 0,05$ ), para ambos açúcares analisados. Nas amostras, o teor de frutose variou entre 25,19 (silvestre) a 38,28% (cana-de-açúcar), sendo o carboidrato dominante em todos os méis. Escuredo et al. (2014), analisaram méis de diferentes origens botânicas, e também verificaram esta tendência em quase todos os méis investigados.

A cristalização, é um processo natural que acontece de maneira espontânea, e no mel, inicialmente ocorre a cristalização da glicose, que tem menor solubilidade, em

concentração acima da supersaturação (ESCUREDO et al., 2013; MARANGONI; WESDORP, 2013). Nas amostras, o teor de glicose variou entre 21,46 (silvestre) a 32,57% (cana-de-açúcar), sendo que o mel de cana-de-açúcar foi o único que apresentou teor superior a 30% (TABELA 1).

Conforme Tabela 1 as amostras apresentaram teor de umidade variando entre 16,40 (assa-peixe) a 19,20% (cana-de-açúcar e vassourinha). O teor de água presente no mel influencia diretamente nas propriedades físicas (comportamento reológico, cristalização, etc.), bem como nos parâmetros sensoriais, conservação, entre outros (ESCUREDO et al., 2014). A viscosidade aumenta com a diminuição do teor de umidade (AL-HABSI; DAVIS; NIRANJAN, 2013), já um alto teor de umidade pode aumentar a atividade de água ocasionando fermentação e o crescimento de leveduras osmofílicas, além de acelerar a cristalização e consequentemente ocasionar alterações sensoriais (ESCRICHE et al., 2017).

A razão dos carboidratos frutose/glicose (F/G) e a razão da glicose/umidade (G/U) são apresentados na Tabela 1 e de acordo com o National Honey Board (2010), o tempo gasto para o mel cristalizar depende principalmente dessas razões. Os méis analisados tiveram valores de F/G na faixa de 1,17 a 1,27 e a razão F/G foi calculada com a finalidade de explicar a granulação dos méis, uma vez que durante a cristalização, a glicose começa a cristalizar primeiro, visto que a frutose possui maior solubilidade e permanece em solução por mais tempo, e, assim, esta relação é um parâmetro muito utilizado para prever a tendência de cristalização de méis (GLEITER; HORN; ISENGARD, 2006). A razão  $F/G \leq 1,14$  indica uma cristalização mais rápida; valores  $>1,58$  estão associados a nenhuma tendência de cristalização (AL-HABSI; DAVIS; NIRANJAN, 2013; VENIR; SPAZIANI; MALTINI, 2010) e valores  $>1,3$  possuem uma cristalização mais lenta (DOBRE et al., 2013; YILMAZ et al., 2014). Um valor médio da razão F/G em torno de 1,2 é relatado por pesquisadores (DOBRE et al., 2013; MANZANARES et al., 2011), sendo este valor próximo aos encontrados nos diferentes tipos de méis.

A relação G/U é definida por Dobre et al. (2013) como outro indicador relevante para a previsão de cristalização do mel. Ainda de acordo com estes autores a cristalização é lenta quando a razão G/U é menor que 1,7, e neste estudo os méis de bracatinga, café, eucalipto, laranjeira, silvestre e vassourinha ficaram abaixo deste valor.

## 3.2 Avaliação dos méis durante o armazenamento

### 3.2.1 Análises físicas e físico-químicas

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos resultados da análise colorimétrica obtidos para os méis nos diferentes tempos de estocagem. Os méis apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tipos de mel e tempo de armazenamento.

Em relação a cor, no tempo 0, o mel de laranjeira obteve o maior valor de  $L^*$ , com uma intensidade de cor mais clara comparado às demais origens botânicas, no entanto, para a coordenada  $C^*$  o mel de café diferiu estatisticamente dos demais ( $p \leq 0,05$ ) no tempo 0, caracterizando-o como mais opaco e para o ângulo  $h^\circ$ , o mel de assa-peixe se destacou dos demais méis, apresentando tom amarelado.

A coordenada  $L^*$  variou de 4,78 (cana-de-açúcar) a 14,87 (laranjeira) – tempo 0, e de 21,30 (silvestre) a 28,77 (eucalipto) – tempo de 180 dias; coordenada  $C^*$  variou de 1,49 (cana-de-açúcar) a 8,12 (café) – tempo 0, e de 12,65 (vassourinha) a 17,70 (cana-de-açúcar) – tempo de 180 dias; e a coordenada  $h^\circ$  variou entre 39,46 (vassourinha) a 76,30 (assa-peixe) – tempo 0, e de 73,43 (silvestre) a 97,36 (assa-peixe) – tempo de 180 dias. Em geral houve aumento das coordenadas  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$  com o passar do tempo de armazenamento, e assim, as amostras foram apresentando uma intensidade de cor amarelo mais opaco. Tendência semelhante foi observada por Dettori et al. (2018) ao avaliarem méis ao longo do período de armazenamento a 14 °C.

Em relação a diferença de cor ( $\Delta E$ ), foi possível observar que durante o período de armazenamento todos os méis tiveram elevação deste parâmetro. Ao final do armazenamento o mel de cana-de-açúcar foi o que apresentou a maior alteração na cor, sendo os méis de laranjeira e vassourinha os que apresentaram a menor alteração. Nos méis o escurecimento sofre influência da sua composição e cor inicial (PAIVA et al., 2012).

Tabela 2 – Análise colorimétrica de méis de diferentes origens botânicas durante o armazenamento (14 °C/180 dias).

Tratamentos	Méis monoflorais				Mel polifloral	Mel de melato	Mel extrafloral	
	Assa-Peixe	Café	Eucalipto	Laranjeira	Vassourinha	Silvestre	Bracatinga	Cana-de-açúcar
<b>L*</b>								
T0	13,94 <sup>Eb</sup>	10,28 <sup>Ed</sup>	11,51 <sup>Fc</sup>	14,87 <sup>Da</sup>	10,92 <sup>Fcd</sup>	7,81 <sup>Ee</sup>	5,89 <sup>Ef</sup>	4,78 <sup>Fg</sup>
T30	16,62 <sup>Dc</sup>	17,46 <sup>Db</sup>	16,33 <sup>Ecd</sup>	19,64 <sup>Ca</sup>	16,71 <sup>Ec</sup>	15,61 <sup>Dde</sup>	14,94 <sup>De</sup>	13,03 <sup>Ef</sup>
T60	25,37 <sup>Cb</sup>	25,50 <sup>Cb</sup>	24,30 <sup>Dc</sup>	26,20 <sup>Ba</sup>	21,33 <sup>De</sup>	23,17 <sup>Ad</sup>	23,53 <sup>Cd</sup>	24,40 <sup>CDc</sup>
T90	26,33 <sup>Bab</sup>	26,07 <sup>BCab</sup>	24,83 <sup>Dbc</sup>	26,77 <sup>Ba</sup>	22,57 <sup>BCd</sup>	23,20 <sup>Accd</sup>	24,13 <sup>BCcd</sup>	24,70 <sup>Cbc</sup>
T120	26,80 <sup>Bb</sup>	26,67 <sup>Bb</sup>	27,23 <sup>Bb</sup>	28,20 <sup>Aa</sup>	25,57 <sup>Ac</sup>	22,70 <sup>Be</sup>	24,63 <sup>Bd</sup>	23,97 <sup>Dd</sup>
T150	26,23 <sup>BCb</sup>	26,10 <sup>BCb</sup>	26,27 <sup>Cb</sup>	27,33 <sup>ABa</sup>	23,43 <sup>Bc</sup>	21,67 <sup>Cd</sup>	26,50 <sup>Ab</sup>	26,67 <sup>Bb</sup>
T180	28,67 <sup>Aa</sup>	28,73 <sup>Aa</sup>	28,77 <sup>Aa</sup>	26,90 <sup>ABc</sup>	22,37 <sup>Cd</sup>	21,30 <sup>Ce</sup>	27,23 <sup>Abc</sup>	27,73 <sup>Ab</sup>
<b>C*</b>								
T0	5,77 <sup>Dcd</sup>	8,12 <sup>Ca</sup>	7,03 <sup>Eb</sup>	7,03 <sup>Fb</sup>	5,02 <sup>De</sup>	6,06 <sup>Ec</sup>	5,48 <sup>Fd</sup>	1,49 <sup>Gf</sup>
T30	10,87 <sup>Ca</sup>	10,61 <sup>Ba</sup>	8,92 <sup>Db</sup>	9,25 <sup>Eab</sup>	5,94 <sup>Cc</sup>	8,54 <sup>Db</sup>	6,82 <sup>Ec</sup>	2,81 <sup>Fd</sup>
T60	11,43 <sup>Cc</sup>	13,71 <sup>Aa</sup>	13,27 <sup>Cab</sup>	12,83 <sup>Db</sup>	11,27 <sup>Be</sup>	10,83 <sup>Cc</sup>	10,83 <sup>Dc</sup>	8,00 <sup>Ed</sup>
T90	12,44 <sup>Bc</sup>	13,73 <sup>Aab</sup>	13,33 <sup>CBabc</sup>	12,90 <sup>CDbc</sup>	11,30 <sup>Bd</sup>	13,90 <sup>Aa</sup>	11,07 <sup>Dd</sup>	9,67 <sup>De</sup>
T120	12,83 <sup>ABb</sup>	14,03 <sup>Aa</sup>	14,43 <sup>BAa</sup>	14,17 <sup>Aa</sup>	13,17 <sup>Ab</sup>	13,03 <sup>Bb</sup>	11,80 <sup>Cc</sup>	8,98 <sup>Cd</sup>
T150	12,67 <sup>Bc</sup>	13,83 <sup>Aab</sup>	13,91 <sup>CBa</sup>	13,50 <sup>Bab</sup>	12,67 <sup>Ac</sup>	12,73 <sup>Bc</sup>	13,35 <sup>Bb</sup>	10,63 <sup>Bd</sup>
T180	13,65 <sup>Ade</sup>	14,27 <sup>Ac</sup>	15,20 <sup>Ab</sup>	13,47 <sup>BCe</sup>	12,65 <sup>Af</sup>	12,67 <sup>Bf</sup>	14,40 <sup>Ac</sup>	17,70 <sup>Aa</sup>
<b>h°</b>								
T0	76,30 <sup>Ca</sup>	71,16 <sup>Cb</sup>	69,63 <sup>Bbc</sup>	71,91 <sup>Eb</sup>	39,46 <sup>Df</sup>	66,83 <sup>Cc</sup>	58,10 <sup>Ed</sup>	53,68 <sup>Cc</sup>
T30	77,80 <sup>Ca</sup>	74,67 <sup>BCab</sup>	70,30 <sup>Bcd</sup>	73,50 <sup>Ebc</sup>	60,47 <sup>Cf</sup>	68,11 <sup>Cde</sup>	57,79 <sup>Ef</sup>	64,80 <sup>Be</sup>
T60	78,30 <sup>Ca</sup>	77,22 <sup>ABa</sup>	70,47 <sup>Bb</sup>	77,30 <sup>Da</sup>	66,80 <sup>Bb</sup>	68,13 <sup>Cb</sup>	67,17 <sup>Db</sup>	65,53 <sup>Bb</sup>
T90	78,63 <sup>Ca</sup>	79,60 <sup>Aa</sup>	71,77 <sup>Bb</sup>	79,63 <sup>CDa</sup>	66,90 <sup>Bc</sup>	68,83 <sup>Cbc</sup>	69,03 <sup>CDbc</sup>	70,03 <sup>Bb</sup>
T120	89,90 <sup>Ba</sup>	79,90 <sup>Abc</sup>	74,03 <sup>Bde</sup>	83,93 <sup>Ab</sup>	74,87 <sup>Ad</sup>	76,39 <sup>Accd</sup>	70,17 <sup>BCe</sup>	65,87 <sup>Bf</sup>
T150	88,30 <sup>Ba</sup>	79,60 <sup>Ac</sup>	73,50 <sup>Bde</sup>	82,57 <sup>ABb</sup>	74,10 <sup>Ade</sup>	74,80 <sup>ABd</sup>	72,50 <sup>Be</sup>	70,09 <sup>Bf</sup>
T180	97,36 <sup>Aa</sup>	80,60 <sup>Ac</sup>	80,70 <sup>Ac</sup>	80,93 <sup>BCc</sup>	73,63 <sup>Ad</sup>	73,43 <sup>Bd</sup>	77,58 <sup>Accd</sup>	88,66 <sup>Ab</sup>
<b>ΔE*</b>								
T30	5,77 <sup>Dde</sup>	7,54 <sup>Cc</sup>	5,17 <sup>De</sup>	5,42 <sup>Dde</sup>	6,15 <sup>Ed</sup>	8,03 <sup>Dbc</sup>	9,06 <sup>Ea</sup>	8,37 <sup>Eab</sup>
T60	12,85 <sup>Ce</sup>	16,18 <sup>Bc</sup>	14,25 <sup>Cd</sup>	12,80 <sup>Ce</sup>	12,70 <sup>De</sup>	16,21 <sup>Bc</sup>	18,57 <sup>Db</sup>	20,62 <sup>Da</sup>
T90	14,25 <sup>Bd</sup>	16,71 <sup>Bc</sup>	14,81 <sup>Cd</sup>	13,36 <sup>BCd</sup>	13,77 <sup>BCd</sup>	16,75 <sup>Ac</sup>	19,16 <sup>CDb</sup>	21,28 <sup>Ca</sup>
T120	14,58 <sup>Bc</sup>	17,37 <sup>Bb</sup>	16,72 <sup>Bb</sup>	14,97 <sup>Ac</sup>	16,38 <sup>Ab</sup>	16,33 <sup>ABb</sup>	19,91 <sup>Ca</sup>	20,77 <sup>CDa</sup>
T150	14,68 <sup>Bde</sup>	16,66 <sup>Bc</sup>	16,57 <sup>Bc</sup>	14,40 <sup>ABe</sup>	14,35 <sup>Be</sup>	15,36 <sup>Cd</sup>	21,49 <sup>Bb</sup>	23,25 <sup>Ba</sup>
T180	16,61 <sup>Ae</sup>	19,41 <sup>Ac</sup>	18,40 <sup>Ad</sup>	13,94 <sup>ABCg</sup>	13,07 <sup>CDh</sup>	14,89 <sup>Cf</sup>	23,32 <sup>Ab</sup>	28,13 <sup>Aa</sup>

Valores médios; n=3. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey ( $p > 0,05$ ).

A atividade de água ( $a_w$ ) que inicialmente estava na faixa de 0,51 (assa-peixe) a 0,56 (bracatinga) – (tempo 0), aos 180 dias alcançou níveis de 0,60 (assa-peixe) a 0,65 (vassourinha). Portanto, houve um aumento deste parâmetro avaliado em decorrência do efeito do armazenamento sobre todas as amostras, tendência também observada por Kuroishi et al. (2012) e Venir et al. (2010). Este aumento está associado à cristalização, visto que parte dos sólidos solubilizados no sistema se unem na forma de cristais, liberando água, fazendo com que a fase líquida se torne menos concentrada e, conseqüentemente, aumente a atividade de água (KUROISHI et al., 2012; SILVA et al., 2016; ZAMORA; CHIRIFE, 2006). No entanto, durante todo o período de armazenamento nenhuma amostra ultrapassou o valor de  $a_w$  de 0,65, o que demonstra que esses méis apresentam menor quantidade de água no estado livre e, assim, são mais estáveis quanto ao desenvolvimento de microrganismos, reações químicas e enzimáticas (ESCRICHE et al., 2017).

Durante o período de armazenamento de 180 dias, os dados experimentais de atividade de água com o tempo ajustaram-se a um modelo linear. Os parâmetros ajustados do modelo linear para a variável de resposta  $a_w$  é mostrada na Tabela 3. A equação do modelo revela a dependência da  $a_w$  em relação ao tempo de armazenamento, cuja magnitude positiva foi observada para o coeficiente angular (b), ou seja, com o tempo as amostras tendem a aumentar linearmente o valor de  $a_w$ . Segundo os coeficientes angulares do modelo linear para os diferentes méis a variação da  $a_w$  com o tempo de armazenamento em ordem crescente foi a seguinte: mel de vassourinha, silvestre, cana-de-açúcar, eucalipto, laranjeira, assa-peixe, café e bracatinga. O mel de bracatinga apresentou a menor variação da  $a_w$  durante o armazenamento e o mel de vassourinha a maior variação em  $a_w$ , atingindo o maior valor de  $a_w$  entre todos os méis ao final do armazenamento.

A absorvância que inicialmente era de 0,11 (laranjeira) a 0,80 (cana-de-açúcar), atingiu níveis de 0,27 (laranjeira) a 1,93 (cana-de-açúcar). Em geral, as amostras apresentaram aumento deste parâmetro com passar do tempo, devido à opacidade causada pela formação de cristais. Esta tendência também foi mencionada por Costa et al. (2015), que armazenaram méis a 15 e a 25 °C durante 34 dias e relataram que a cristalização foi mais intensa nos méis armazenados a 15 °C. Estes mesmos autores também relatam que a turbidez do mel aumenta com a cristalização, e o aumento na absorvância a 660 nm pode ser considerado como indicativo de cristalização.

Para o parâmetro de absorvância, o modelo de regressão com melhor ajuste foi um polinômio quadrático ( $P < 0,0001$ ), que apresentou um melhor coeficiente de

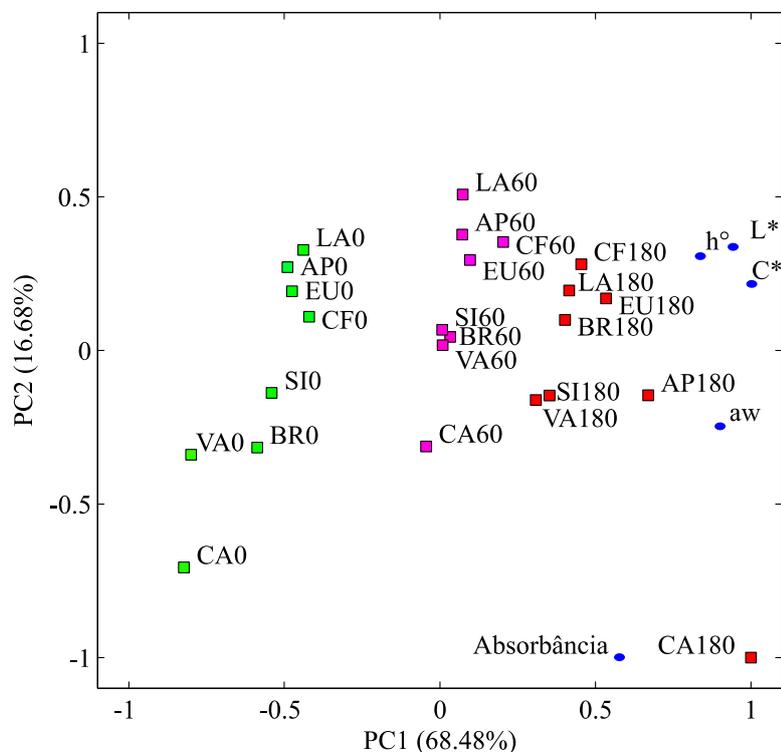
determinação (Tabela 3) e confirmado pela análise de resíduos. A equação do modelo mostra efeito positivo do tempo de armazenamento no valor da absorvância, confirmando o aumento na absorvância das amostras com o aumento do tempo de armazenamento. No modelo quadrático, observa-se que a variação da absorvância aumenta com o tempo, ou seja, inicialmente existem pequenas variações e, posteriormente, variações mais repentinas. Os coeficientes parabólicos (c) para os modelos de absorvância apresentaram a seguinte ordem: cana-de-açúcar, assa-peixe, laranjeira, eucalipto, silvestre, vassourinha, café e bracinga. Para os coeficientes lineares (a) o mel de cana-de-açúcar foi o mais alto e o de laranja apresentou o menor valor, com os méis de outras origens botânicas variando entre 0,20411 e 0,43674.

Tabela 3 – Equações de regressão para méis de diferentes origens botânicas durante o tempo de armazenamento (14 °C).

Tratamentos	Viscosidade Newtoniana ( $\mu$ , Pa·s) <sup>1</sup>				Atividade de água ( $a_w$ ) <sup>2</sup>				Absorbância <sup>2</sup>			
	Modelo de regressão: $\hat{Y} = a + bx$				Modelo de regressão: $\hat{Y} = a + bx$				Modelo de regressão: $\hat{Y} = a + cx^2$			
	<i>a</i>	<i>B</i>	R <sup>2</sup> <sub>REG</sub>	<i>P</i> > <i>F</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup> <sub>REG</sub>	<i>P</i> > <i>F</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	R <sup>2</sup> <sub>REG</sub>	<i>P</i> > <i>F</i>
<b>Méis monoflorais</b>												
Assa-peixe	19,93048	0,32866	0,9461	< 0,0001	0,52236	0,00038968	0,8037	< 0,0001	0,20411	0,00002084	0,8197	< 0,0001
Café	10,00222	0,06957	0,9086	< 0,0001	0,54602	0,00038175	0,8678	< 0,0001	0,27281	0,00000551	0,8493	< 0,0001
Eucalipto	4,61845	0,18052	0,9247	< 0,0001	0,54425	0,00043056	0,8397	< 0,0001	0,23052	0,00000983	0,8309	< 0,0001
Laranjeira	12,84194	0,15207	0,8671	< 0,0001	0,52090	0,00041429	0,8606	< 0,0001	0,17946	0,00001000	0,9012	< 0,0001
Vassourinha	3,77589	0,03339	0,9488	< 0,0001	0,54526	0,00052143	0,8709	< 0,0001	0,41866	0,00000633	0,8689	< 0,0001
<b>Mel polifloral</b>												
Silvestre	4,45444	0,14893	0,9748	< 0,0001	0,53424	0,00049524	0,8699	< 0,0001	0,43674	0,00000656	0,9777	< 0,0001
<b>Mel de melato</b>												
Bracatinga	7,27048	0,19522	0,9083	< 0,0001	0,56617	0,00021349	0,8337	< 0,0001	0,42752	0,00000525	0,8230	< 0,0001
<b>Mel extrafloral</b>												
Cana-de-açúcar	4,06651	0,68226	0,9197	< 0,0001	0,53508	0,00046627	0,8118	< 0,0001	0,79789	0,00004258	0,9000	< 0,0001

<sup>1</sup>tempo de armazenamento (0, 30, 60 e 90 dias), <sup>2</sup>tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias).  $\hat{Y}$  = variável dependente,  $x$  = tempo de armazenamento (dias),  $a$ ,  $b$ , e  $c$  = coeficientes estimados do modelo,  $R^2$  = coeficiente de determinação.

A Figura 1 apresenta a Análise de Componentes Principais (PCA), com as amostras e atributos avaliados na distribuição espacial, facilitando a visualização dos resultados.



**Figura 1.** Análise de componentes principais (PCA) de méis de diferentes origens botânicas durante o armazenamento (14 °C/0, 60 e 180 dias), para os parâmetros de  $a_w$ , cor ( $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ ) e absorvância. AP (assa-peixe); BR (bracatinga); CF (café); CA (cana-de-açúcar); EU (eucalipto); LA (laranjeira); SI (silvestre); VA (vassourinha).

Observa-se claramente na Figura 1 que de maneira geral os valores de absorvância,  $a_w$ , parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$  de todas as amostras de méis aumentaram durante o armazenamento a 14 °C, indicando a ocorrência do processo de cristalização com o tempo. Pode-se verificar que no tempo de 180 dias o mel de cana-de-açúcar se destacou das demais origens botânicas, apresentando maior absorvância.

### 3.2.2 Comportamento reológico

Dentre os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico dos méis, o modelo Lei de Newton ( $\mu$ , viscosidade Newtoniana - Pa·s) apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, com alto coeficiente de determinação ( $0,9757 \leq R^2 \leq 1$ ) e baixos valores do erro do quadrado médio ( $0,1887 \leq RMSE \leq 2,8504$ ). Portanto, assim como em outros estudos relatados na literatura (COSTA et al., 2013; SANTOS et al.,

2014), todas as amostras de mel apresentaram comportamento Newtoniano até o tempo de 90 dias, ou seja, a taxa de deformação não alterou sua viscosidade (SAXENA; PANICKER; GAUTAM, 2014). De acordo com Santos et al. (2014), o comportamento Newtoniano é geralmente esperado para uma solução concentrada de compostos de baixo peso molecular como o mel. Em complemento, para El-Biale e Sorour (2011), um comportamento não Newtoniano em méis poderia significar a adição de substâncias estranhas como o amido.

Com base nos resultados apresentados (Tabela 3), observou-se um aumento na viscosidade das amostras devido ao aumento do tempo de armazenamento. Através da equação do modelo, é possível verificar a grande variação na viscosidade dos méis de cana-de-açúcar e assa-peixe ao longo do tempo, seguidos dos méis de bracinga, eucalipto, laranjeira e silvestre, com variações previstas entre 4,20 e 5,70 Pa·s por mês. Os menores coeficientes angulares foram dos méis de vassourinha e café, evidenciando a as menores variações de viscosidade durante armazenamento, e menores valores ao final de 90 dias de armazenamento. Segundo Bakier (2016), ao longo do armazenamento ocorre um aumento da viscosidade dos méis, em decorrência de uma estrutura formada por cristais, ou seja, tornam-se sólidos após longos períodos de tempo. Por esta razão, a medição do comportamento reológico do mel cristalizado em equipamento específico pode ser problemática, pois a amostra precisa ser triturada, o que a uma temperatura abaixo de 20 °C pode ser difícil. Portanto, o processo de cristalização dos méis influencia na obtenção dos resultados.

O mel de cana-de-açúcar apresentou a maior viscosidade (64,82 Pa·s) entre as amostras estudadas ao final de 90 dias de armazenamento, confirmando a influência da composição do mel no processo de cristalização. Como observado o mel de cana-de-açúcar apresentou maiores teores de glicose e frutose (maior supersaturação) e uma das maiores elevações de atividade de água durante o armazenamento, devido a um processo intenso de cristalização que, conseqüentemente, elevou a viscosidade do produto. Conforme descrito por Nayik, Dar e Nanda (2019), as propriedades reológicas dos méis cristalizados podem ser influenciadas pela fração de massa e morfologia da fase cristalina, além da temperatura e do teor de água. Como apresentado na Tabela 3, a viscosidade Newtoniana das amostras aumentou em decorrência do tempo, assim como a atividade de água, o que de acordo com Conforti et al. (2006) indica a cristalização da glicose presente nos méis.

### 3.2.3 Análise de correlação

Os coeficientes de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre os diferentes parâmetros analisados neste estudo estão apresentados na Tabela 4. O coeficiente de correlação produto-momento de Pearson ( $-1 \leq r \leq 1$ ) quantifica a relação entre as variáveis e as classifica como correlação positiva linear perfeita ( $r = 1$ ), negativa linear perfeita ( $r = -1$ ) e sem correlação linear entre as variáveis ( $r = 0$ ). Qualitativamente, o coeficiente de correlação linear também é classificado como: fraco ( $0 \leq |r| \leq 0,30$ ); moderado ( $0,30 \leq |r| \leq 0,60$ ); forte ( $0,60 \leq |r| \leq 0,90$ ); e muito forte ( $0,90 \leq |r| \leq 1,00$ ) (RODRIGUES; LEMMA, 2014).

Conforme Tabela 4, os parâmetros viscosidade ( $\mu$ ), atividade de água ( $a_w$ ) e absorvância (Abs) dos méis foram correlacionados para cada origem botânica durante o período de armazenamento. Observa-se que os atributos estudados nos méis apresentaram correlações perfeitas (coeficientes positivos), mostrando que o aumento do fator no tempo implica diretamente no aumento dos demais fatores de forma significativa.

A viscosidade apresentou correlação muito forte ( $0,90 \leq |r| \leq 1,00$ ) com os parâmetros  $a_w$  e absorvância, indicando que quanto maior a viscosidade dos méis, maiores os valores dessas variáveis. Em relação aos fatores  $a_w$  e absorvância, também apresentaram correlação muito forte ( $0,90 \leq |r| \leq 1,00$ ). Tal resultado confirma a influência direta do processo de cristalização na qualidade do produto final. Portanto, por meio dos coeficientes de correlação de Pearson, foi possível confirmar os resultados encontrados e discutidos neste manuscrito.

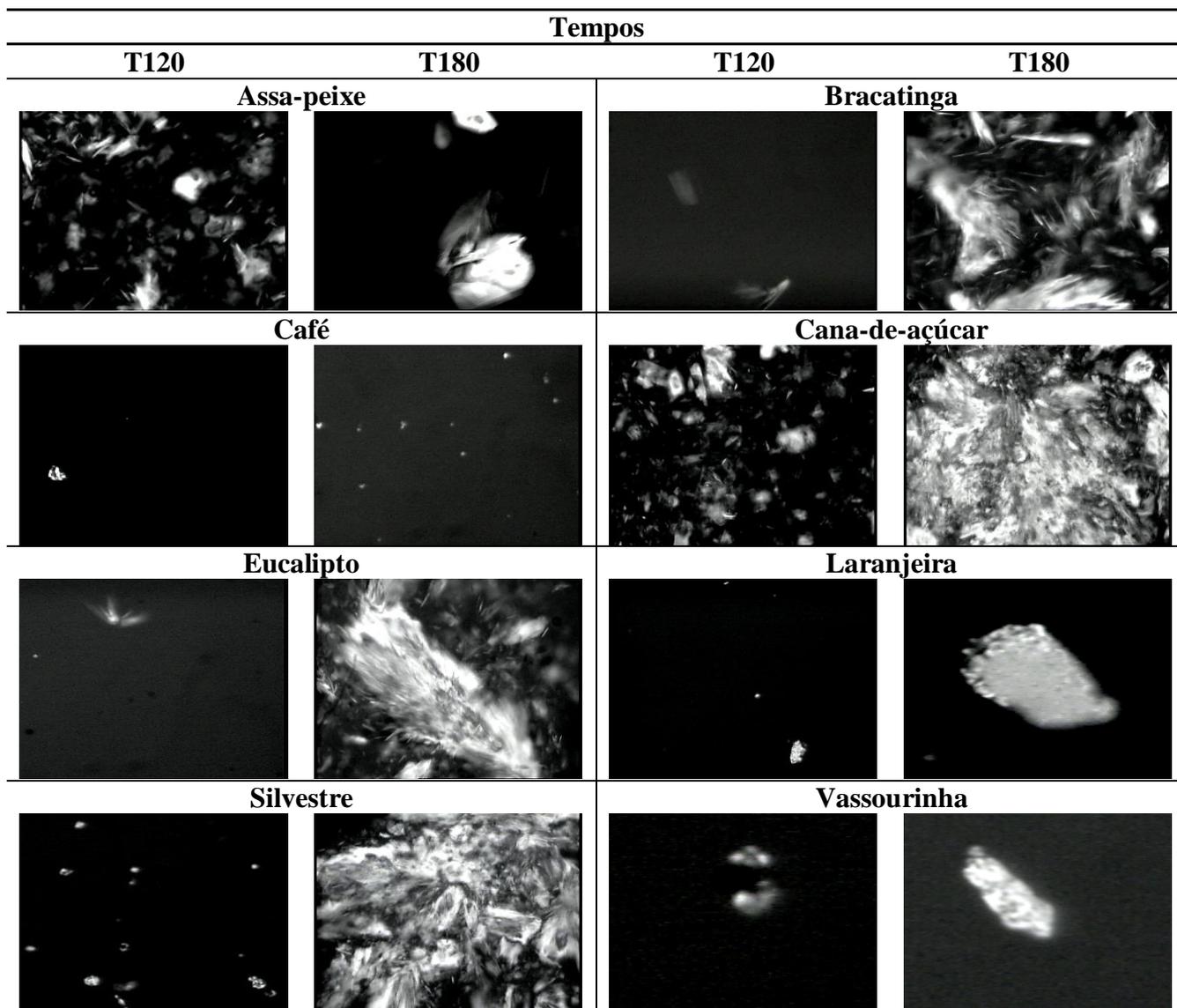
Tabela 4 – Coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros (viscosidade Newtoniana, atividade da água e absorvância) para méis em diferentes tempos de armazenamento.

Parâmetros	$\mu$	$a_w$	Abs
$M$	1		
$a_w$	0.98250**	1	
Abs	0.98199*	0.91778***	1

$\mu$  = viscosidade Newtoniana (Pa·s),  $a_w$  = atividade da água, Abs = absorvância. <sup>ns</sup>Não significativo. \*Significativo em  $p < 0.05$  para relações correlativas; \*\*Significativo em  $p < 0.01$  para relações correlativas; \*\*\*Significativo em  $p < 0.001$  para relações correlativas.

### 3.2.4 Análise microscópica

A Figura 2 apresenta o resultado da análise microscópica com luz polarizada realizada nos méis nos tempos de 120 e 180 dias de armazenamento, os quais apresentaram a percepção clara dos primeiros cristais formados em todas as amostras de méis.



**Figura 2.** Análise microscópica com luz polarizada de méis de diferentes origens botânicas durante o armazenamento (14 °C/120 e 180 dias; ampliação de 10x).

A Figura 2, mostra que todos os méis apresentaram algum grau de cristalização aos 120 dias de armazenamento a 14 °C, com cristais dispostos em buquês ou aleatoriamente assim como observado por Conforti et al. (2006). Entretanto, a rigorosidade do processo está relacionada com a origem botânica e, conseqüentemente, com a composição do mel.

Conforme demonstrado nas imagens de microscopia, no tempo de 120 dias, observou-se que além do mel de cana-de-açúcar a cristalização foi mais intensa também no mel de assa-peixe. Considerando o intervalo até 180 dias, é possível dividir os méis em três grupos; grupo com poucos cristais e grandes (assa-peixe, laranjeira e vassourinha); um segundo grupo com poucos cristais e pequenos (mel de café) e no terceiro grupo tem-se uma cristalização mais intensa, sendo dos méis de eucalipto,

silvestre, bracatinga e cana-de-açúcar, sendo mais intensa a cristalização no mel de cana-de-açúcar, destacando-se das demais origens botânicas.

A cristalização mais intensa foi observada em méis com  $F/G \leq 1,20$  (cana-de-açúcar, silvestre, bracatinga, eucalipto e assa-peixe), e, observou-se no mel de café ( $F/G=1,23$ ) a menor tendência a cristalização, após os 180 dias de armazenamento. A razão  $G/U$  não se aplicou de maneira eficaz neste estudo, uma vez que os méis de eucalipto e silvestre ( $G/U$  de 1,3 e 1,16, respectivamente), exibiram cristalização mais intensa no final do tempo de armazenamento (180 dias), bem semelhante ao mel de cana-de-açúcar (FIGURA 2), que apresentou relação  $G/U$ , igual a 1,70.

Segundo Escuredo et al. (2014) e Manikis e Thrasivoulou (2001), méis com conteúdo de glicose acima de 30% possuem uma maior tendência de apresentar cristalização mais intensa ao longo do tempo, e neste estudo o mel de cana-de-açúcar foi o que demonstrou essa maior intensidade de cristais ao atingir o tempo de 180 dias de armazenamento (FIGURA 2). O mel de cana-de-açúcar também apresentou maior absorvância e tonalidade avermelhada, bem como maior teor de glicose e frutose. Fatores que influenciam diretamente no processo de cristalização ao longo do armazenamento.

#### **4 Conclusão**

A composição dos méis influenciou diretamente no processo de cristalização observado ao longo do armazenamento de 180 dias a 14 °C. Em todos os méis ocorreram mudanças durante a estocagem, no entanto o mel de cana-de-açúcar se destacou por apresentar maior cristalização, processo influenciado pela origem botânica, assim como a alta concentração de frutose e glicose, sendo estes alguns dos fatores que mais interferiram na taxa de cristalização e fizeram com que este mel apresentasse um comportamento distinto durante o armazenamento. Como resultado da cristalização, foi observado uma elevação da  $a_w$ , tonalidade, viscosidade e absorvância. No entanto, o mel de café foi o mais estável entre os méis analisados, com menor cristalização e, em geral, menores variações nos parâmetros avaliados.

#### **Agradecimentos**

Este estudo foi financiado em partes pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código do Financiamento 001. Os autores gostariam de agradecer o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas

Gerais – Brasil (FAPEMIG) pelo suporte financeiro. Suporte técnico do Laboratório Multiusuário Central de Análise e Prospecção Química (CAPQ) - UFLA.

### **Conflito de interesse**

Nenhum potencial conflito de interesses foi relatado pelos autores.

### **Referências**

AL-HABSI, N. A.; DAVIS, F. J.; NIRANJAN, K. Development of Novel Methods to Determine Crystalline Glucose Content of Honey Based on DSC, HPLC, and Viscosity Measurements, and Their Use to Examine the Setting Propensity of Honey. **Journal of Food Science**, v. 78, n. 6, 2013.

ALMEIDA FILHO, J. P. DE et al. Estudo físico-químico e de qualidade do mel de abelha comercializado no município de Pombal - Pb. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 3, p. 83–90, 2011.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 19. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2012.

BAKIER, S. Rheological Properties of Honey in a Liquid and Crystallized State Sławomir. In: **Intech**. p. 2–25, 2016.

BARTH, O. M. Melissopalynology in Brazil: a review of pollen analysis of honeys, propolis and pollen loads of bees. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 3, p. 342–350, 2004.

BOGDANOV, S. **Harmonised Methods of the European Honey Commission**. 3rd. ed. Bremen: IHC, 2009.

CONFORTI, P. A. et al. Crystallization of honey at -20°C. **International Journal of Food Properties**, v. 9, n. 1, p. 99–107, 2006.

COSTA, L. C. V. et al. Influence of temperature and homogenization on honey crystallization. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 155–161, 2015.

COSTA, P. A. et al. Physical properties of honeys produced in the Northeast of Brazil. **International Journal of Food Studies**, v. 2, p. 118–125, 2013.

DETTORI, A. et al. Kinetic of induced honey crystallization and related evolution of structural and physical. **LWT - Food Science and Technology**, v. 95, p. 333–338, 2018.

DOBRE, I. et al. Palynological evaluation of selected honeys from Romania. **Grana**, v. 52, n. 2, p. 113–121, 2013.

EL-BIALEE, N. .; SOROUR, M. . Effect of adulteration on honey properties. **International Journal of Applied Science and Technology**, v. 1, n. 6, p. 122–133, 2011.

- ESCRICHE, I. et al. Physicochemical and rheological characterization of honey from Mozambique. **LWT - Food Science and Technology**, v. 86, p. 108–115, 2017.
- ESCUREDO, O. et al. Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. **Food Chemistry**, v. 149, p. 84–90, 2014.
- ESCUREDO, O. et al. Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 851-856, 2013.
- GLEITER, R. A.; HORN, H.; ISENGARD, H. D. Influence of type and state of crystallisation on the water activity of honey. **Food Chemistry**, v. 96, n. 3, p. 441–445, 2006.
- KABBANI, D.; SEPULCRE, F.; WEDEKIND, J. Ultrasound-assisted liquefaction of rosemary honey: Influence on rheology and crystal content. **Journal of Food Engineering**, v. 107, n. 2, p. 173–178, 2011.
- KARASU, S. et al. Thermal loop test to determine structural changes and thermal stability of creamed honey: Rheological characterization. **Journal of Food Engineering**, v. 150, p. 90–98, 2015.
- KUROISHI, A. M. et al. Avaliação da cristalização de mel utilizando parâmetros de cor e atividade de água. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 84–91, 2012.
- LUPANO, C. E. DSC study of honey granulation stored at various temperatures. **Food Research International**, v. 30, n. 9, p. 683–688, 1997.
- MANIKIS, I.; THRASIVOULOU, A. La relacion entre las características físico-químicas de la miel y los parámetros de sensibilidad a la cristalización. **Apiacta**, v. 36, n. 2, p. 106–112, 2001.
- MANZANARES, A. B. et al. Differentiation of blossom and honeydew honeys using multivariate analysis on the physicochemical parameters and sugar composition. **Food Chemistry**, v. 126, p. 664–672, 2011.
- MARANGONI, A. G.; WESDORP, L. H. **Nucleation and Crystalline Growth Kinetics, Structure and Properties of fat Crystal Networks**. USA: CRC Press, 2013.
- NATIONAL HONEY BOARD. **Honey Varietals**. 2010. Disponível em: <<https://www.honey.com/>>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- NAYIK, G. A.; DAR, B. N.; NANDA, V. Physico-chemical, rheological and sugar profile of different unifloral honeys from Kashmir valley of India. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 8, p. 3151–3162, 2019.
- NURUL ZAIZULIANA, R. A. et al. Effect of storage conditions on the crystallisation behaviour of selected Malaysian honeys. **International Food Research Journal**, v. 24, p. 475–480, 2017.

PAIVA, C. A. DE et al. Vida de prateleira do mel produzido por abelhas africanas. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 6, n. 2, p. 151–159, 2012.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**, 3rd ed. Campinas, Brazil: Cárita, 2014.

SANTOS, F. K. G. et al. Rheological and some physicochemical characteristics of selected floral honeys from plants of caatinga. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 981–994, 2014.

SAXENA, S.; PANICKER, L.; GAUTAM, S. Rheology of Indian honey: Effect of temperature and gamma radiation. **International Journal of Food Science**, v. 2014, p. 1–6, 2014.

SILVA, P. M. et al. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. **Food Chemistry**, v. 196, p. 309–323, 2016.

TOSI, E. et al. Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content. **Food Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 71–74, 2002.

VENIR, E.; SPAZIANI, M.; MALTINI, E. Crystallization in “Tarassaco” Italian honey studied by DSC. **Food Chemistry**, v. 122, p. 410–415, 2010.

YILMAZ, M. T. et al. Steady, dynamic and creep rheological analysis as a novel approach to detect honey adulteration by fructose and saccharose syrups: Correlations with HPLC-RID results. **Food Research International**, v. 64, p. 634–646, 2014.

ZAMORA, M. C.; CHIRIFE, J. Determination of water activity change due to crystallization in honeys from Argentina. **Food Control**, v. 17, n. 1, p. 59–64, 2006.

ZHENG, Y. et al. Evaluation of total antioxidant activity of different floral sources of honeys using crosslinked hydrogels. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 14, n. 2, p. 1479–1487, 2019.