**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Análise físico-química de amostras de méis de *Apis mellifera* e
Meliponíneos**

Luzimario Lima Pereira

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Entomologia**

**Piracicaba
2010**

Luzimario Lima Pereira
Engenheiro Agrônomo

Análise físico-química de amostras de méis de *Apis mellifera* e Meliponíneos

Orientador:
Prof. Dr. **LUÍS CARLOS MARCHINI**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Entomologia**

**Piracicaba
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Pereira, Luzimario Lima

Análise físico-química de amostras de méis de *Apis mellifera* e Meliponíneos / Luzimario Lima
Pereira. - - Piracicaba, 2010.

84 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Abelhas 2. Mel - Análise físico-química 3. Qualidade dos alimentos 4. Voltametria - Técnicas
Título

CDD 638.16
P436a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Antônio de Jesus Pereira e Ademilde Lima Pereira, que sempre me orientam e apoiam as minhas decisões; e

A todos os familiares e amigos que participaram da edificação de minha personalidade e conduta.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares;

Ao meu orientador, Luís Carlos Marchini, pela amizade, orientação e apoio em todos os momentos;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Programa de Pós-graduação em Entomologia e Acarologia, pela oportunidade de aprendizado;

A todos os amigos do Laboratório de Insetos Úteis, Anna Frida Hatsue Modro, Augusta Carolina de C. C. Moreti, Lorena Andrade Nunes, Maria Emilene Correia de Oliveira, Talita Antonia da Silveira, José Wilson Pereira da Silva e Vitor Celso da Silva;

Aos funcionários da ESALQ Carlos Roberto Judice, Horozino Rodrigues dos Santos, João Ângelo Cerignoni, José Carlos Rodrigues Castilho, Luís Lucatti, Maria Marta Colletti Barella, Silvia Maria Zinsly, Silvio D. D. Bacheta, Solange Aparecida Vieira Barros, Vitor Celso da Silva e Willian Bueno de Camargo, pela atenção e solicitude;

Por tantos momentos de alegria, aos amigos Adilson Nunes da Silva, Alexandro dos Santos Brito, Ana Paula Tiveron, Anderson Luiz de Souza, Angelica Durigon, Elen Fernandes Serra, Elenilson Moreira Franco, Flavia da Silva Bobillo, Francisco Bernardo Dias, Gerane Celly Dias Bezerra, Jaedson Cláudio Anunciato Mota, João Batista Ribeiro da Silva Reis, Josenita dos Santos Barreto, Lucas Melo Vellame, Márcio Alves Silva, Marinaldo Ferreira Pinto, Miriam Mabel Selani, Neilo Bergamin Moreira, Onildo Nunes de Jesus, Priscilla Siqueira Melo, Renata Araújo Simões, Renata Siqueira Melo, Rodrigo Santana Maia e Roque Emmanuel da Costa de Pinho;

Ao amigo Ricardo Alves de Olinda, pelo auxílio nas análises estatísticas;

Ao amigo Luís Roberto Boscariol, por me confiar a possibilidade de atuar junto à empresa ColdLab;

Aos amigos Jaedson Cláudio Anunciato Mota e Roque Emmanuel da Costa de Pinho, pelo auxílio na correção gramatical do texto;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa; e

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela aprovação do projeto que possibilitou a compra do analisador voltamétrico.

EPIÍGRAFE

“Nenhum homem realmente produtivo pensa como se estivesse escrevendo uma dissertação”.

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 DESENVOLVIMENTO	19
2.1 Importância de análises físico-químicas em méis	19
2.2 Espécies de abelhas estudadas.....	19
2.2.1 Espécie exótica	19
2.2.2 Espécies nativas	20
2.3 Interação entre abelhas nativas e <i>Apis mellifera</i>	22
2.4 A flora apícola e os aspectos da relação abelha-flor	23
2.5 Importância do mel para a alimentação.....	25
2.6 Composição do mel e requisitos para a análise de qualidade.....	26
2.6.1 Características sensoriais	27
2.6.2 Características físico-químicas.....	28
2.6.3 Outras análises	30
2.6.4 Acondicionamento	32
2.7 Voltametria	32
2.8 Material e Métodos.....	33
2.8.1 Variáveis analisadas.....	36
2.8.1.1 Umidade	36
2.8.1.2 Atividade de água.....	36
2.8.1.3 Viscosidade	37
2.8.1.4 pH, acidez livre e índice de formol	37
2.8.1.5 Açúcares redutores e sacarose aparente	38
2.8.1.6 Teor de cinzas.....	40
2.8.1.7 Cor.....	40
2.8.1.8 Condutividade elétrica	40
2.8.1.9 Minerais e elementos-traço: Hg, Cd, Zn, Pb e Cu	41

2.8.1.9.1 Digestão das amostras	41
2.8.1.9.2 Equipamento e técnica polarográfica	41
2.8.1.10 Hidroximetilfurfural	43
2.8.1.11 Atividade diastásica	43
2.8.2 Análises Estatísticas	43
2.8.2.1 Análise de variância (ANOVA)	43
2.8.2.2 Análise de fatores associados aos componentes principais	44
2.8.2.3 Análise discriminante canônica.....	44
2.9 Resultados e Discussão	45
2.9.1 Análise de variância (ANOVA)	45
2.9.1.1 Umidade	45
2.9.1.2 Atividade de água	46
2.9.1.3 Viscosidade	47
2.9.1.4 pH, acidez livre e índice de formol	48
2.9.1.5 Açúcares redutores e sacarose aparente	50
2.9.1.6 Teor de cinzas	52
2.9.1.7 Cor	53
2.9.1.8 Condutividade elétrica	54
2.9.1.9 Minerais e elementos-traço: Hg, Cd, Zn, Pb e Cu.....	55
2.9.1.10 Hidroximetilfurfural	57
2.9.1.11 Atividade diastásica	59
2.9.2 Análise de fatores associados aos componentes principais	60
2.9.2.3 Análise discriminante canônica.....	63
3 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS	67
ANEXOS.....	77

RESUMO

Análise físico-química de amostras de méis de *Apis mellifera* e Meliponíneos

O mel de abelhas é um produto biológico muito complexo, cuja composição varia notavelmente em função da flora visitada pelas abelhas e das condições climáticas e edáficas da região onde foi produzido. Este trabalho teve como objetivos confrontar os resultados das análises físico-químicas entre as amostras de méis produzidos em diferentes localidades do Brasil por *Apis mellifera* e por Meliponíneos e investigar se o mel produzido por essas abelhas nas suas diferentes regiões de origem apresenta níveis toleráveis de contaminantes inorgânicos. Para tanto, foram avaliadas 56 amostras de méis de *A. mellifera* e 56 amostras de méis de Meliponíneos dos Estados da Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Piauí, Paraná, Santa Catarina e São Paulo, em relação aos seguintes parâmetros: umidade, atividade de água, viscosidade, pH, acidez livre, índice de formol, açúcares redutores, sacarose aparente, teor de cinzas, cor, condutividade elétrica, hidroximetilfurfural, atividade diastásica e metais (Hg^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} e Cu^{+2}). Foi utilizada a técnica de Voltametria de Redissolução Anódica de Pulso Diferencial (DPASV) para quantificar os metais, e métodos convencionais e próprios para mel nas demais análises. Os resultados mostraram que a legislação atual, referente ao mel de *A. mellifera*, não é adequada para os parâmetros açúcares redutores, umidade e atividade diastásica de algumas espécies de Meliponíneos. Pôde-se concluir que as espécies *A. mellifera*, *Tetragonisca angustula*, *Melipona quadrifasciata*, *M. scutellaris*, *M. mandacaia*, *M. fasciculata*, *M. subnitida* produzem méis com características físico-químicas diferentes e próprias de cada uma delas. Para todas as espécies avaliadas, os níveis de contaminantes inorgânicos encontrados nos méis foram toleráveis à saúde humana. Os méis produzidos por *A. mellifera* apresentaram variações nas características físico-químicas: atividade de água, viscosidade, acidez livre, índice de formol, açúcares redutores, condutividade elétrica, hidroximetilfurfural, atividade diastásica e o mineral zinco, em função dos diferentes locais onde foram produzidos.

Palavras-chave: Físico-química; Técnicas voltamétricas; Qualidade do mel; Meliponíneos

ABSTRACT

Physico-chemical analysis of honey samples of *Apis mellifera* and Meliponid

The honeybee is a very complex biological product, whose composition varies markedly depending on the plant visited by the bees and the weather and soil conditions in the region where it was produced. This study aimed to compare the results of physico-chemical analysis between the samples of honey produced in different locations in Brazil by *Apis mellifera* and Meliponid and to investigate whether honey produced by these bees, in different regions of origin, has tolerable levels of inorganic contaminants. To this end, we evaluated 56 samples of honey from *A. mellifera* and 56 samples of honey from Meliponid from the states of Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Piauí, Paraná, Santa Catarina and São Paulo, for the following parameters: moisture content, water activity, viscosity, pH, free acidity, formol index, reducing sugars, apparent sucrose, ash content, color, electrical conductivity, hydroxymethylfurfural, diastase activity and metals (Hg^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} and Cu^{+2}). Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry (DPASV) technique was used to quantify the metals, and, to the other analysis, conventional and suitable methods for honey were used. The results showed that the current legislation, referring to the honey of *A. mellifera*, is not appropriate for the parameters reducing sugars, moisture content and diastase activity of some species of Meliponid. It was concluded that the species *A. mellifera*, *Tetragonisca angustula*, *Melipona quadrifasciata*, *M. scutellaris*, *M. mandacaiá*, *M. fasciculata*, *M. subnitida* produce honeys with different and specific physico-chemical characteristics. For all species studied, levels of inorganic contaminants found in honey were tolerable to human health. The honey produced by *A. mellifera* showed variations in physico-chemical water activity, viscosity, free acidity, formol index, reducing sugars, electrical conductivity, hydroxymethylfurfural, diastase activity and the mineral zinc, depending on the different locations where they were produced.

Keywords: Physico-chemical; Voltammetric techniques, Honey quality, Meliponid

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Locais de coleta, espécies de abelhas produtoras e codificação das amostras de mel	34
Tabela 2 – Parâmetros e condições utilizadas na célula polarográfica para as determinações de Hg^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} e Cu^{2+} por voltametria de redissolução anódica de pulso diferencial	42
Tabela 3 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de umidade (%) dos méis de diferentes espécies e localidades	45
Tabela 4 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de atividade de água (decimal) dos méis de diferentes espécies e localidades	47
Tabela 5 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de viscosidade (mPa s) dos méis de diferentes espécies e localidades	48
Tabela 6 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de pH, acidez livre (meq kg^{-1}) e índice de formol (meq kg^{-1}) dos méis de diferentes espécies e localidades	49
Tabela 7 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de açúcares redutores (%) dos méis de diferentes espécies e localidades	51
Tabela 8 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de teor de cinzas (%) dos méis de diferentes espécies e localidades	52
Tabela 9 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de cor (absorbância) dos méis de diferentes espécies e localidades	53
Tabela 10 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) dos méis de diferentes espécies e localidades	54
Tabela 11 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de zinco (mg kg^{-1}) e cádmio ($\mu\text{g kg}^{-1}$) dos méis de diferentes espécies e localidades	56
Tabela 12 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de chumbo (mg kg^{-1}) e cobre (mg kg^{-1}) dos méis de diferentes espécies e localidades	57
Tabela 13 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de hidroximetilfurfural (mg kg^{-1}) dos méis de diferentes espécies e localidades	58

Tabela 14 – Comparação entre os valores médios ⁽¹⁾ de atividade diastásica (escala de Göthe) dos méis de diferentes espécies e localidades	59
Tabela 15 – Matriz de correlação (coeficiente de correlação de Pearson) para os parâmetros físico-químicos analisados: cor (Cor), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), teor de cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)	61
Tabela 16 – Autovetores calculados para 112 amostras de méis, analisados com base em suas características físico-químicas	62
Tabela 17 – Matriz de confusão para as espécies: <i>Apis mellifera</i> (AM), <i>Tetragonisca angustula</i> (TA), <i>Melipona quadrifasciata</i> (MQ), <i>Melipona scutellaris</i> (MSC), <i>Melipona mandacaia</i> (MM), <i>Melipona fasciculata</i> (MF), <i>Melipona subnitida</i> (MSU)	64

1 INTRODUÇÃO

O mel de abelhas tem se tornado uma importante fonte alimentar nos últimos anos. Prova disso é que em alguns locais do Brasil já é componente básico da merenda escolar de crianças que estão no ensino fundamental. Por outro lado, além de alimento, é bastante utilizado como fonte medicamentosa no combate a algumas enfermidades do corpo humano. É um produto biológico muito complexo, cuja composição varia notavelmente em função da flora visitada pelas abelhas e das condições climáticas e edáficas da região onde foi produzido. Segundo Barth et al. (2005), suas características organolépticas e composicionais são variáveis e dependem de muitos fatores associados aos tipos de vegetação da região de sua procedência, que alteram suas características físicas e químicas.

Todos os produtos apícolas são muito sensíveis a contaminações ambientais, pois o néctar e o pólen são oriundos das flores que estão permanentemente expostas às mais diversas fontes poluidoras. Constata-se hoje, em diversos países, a contaminação de produtos apícolas principalmente por inseticidas e metais pesados. Essa constatação, que é grave quando se considera o risco potencial à saúde humana, tem levado os órgãos de controle de qualidade de alimentos do mundo todo a um permanente estado de vigilância quanto à qualidade dos méis que são postos nos mercados consumidores.

Nesse cenário, estudos que caracterizem os méis das mais distintas localidades de produção são importantes para a formação de um banco de dados que possibilite estabelecer padrões que sirvam de referência para se inferir sobre aspectos de qualidade de tais produtos e, desse modo, proteger o consumidor contra produtos contaminados ou adulterados.

A presente pesquisa teve como objetivos confrontar os resultados das análises físico-químicas entre as amostras de méis produzidos em diferentes regiões do Brasil por *Apis mellifera* e por Meliponíneos, e investigar se o mel produzido por essas abelhas, nas suas diferentes regiões de origem, apresenta níveis toleráveis de contaminantes inorgânicos à saúde humana.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Importância de análises físico-químicas em méis

O Brasil tem um grande potencial apícola, pelo fato de sua flora ser bastante diversificada, por sua extensão territorial e pela variabilidade climática existente, o que possibilita produzir mel o ano todo. Esse aspecto já o diferencia dos demais países que, normalmente, colhem mel uma vez por ano. No entanto, apesar dessa vantagem, há uma grande variação nas características dos méis produzidos (MARCHINI; SOUZA, 2006).

Ainda segundo Marchini e Souza (2006), por causa da grande diversidade em sua composição, os estudos voltados para a caracterização dos méis produzidos são de extrema importância para a criação de padrões de qualidade de acordo com fatores vegetais, edáficos e climáticos das respectivas regiões em que são produzidos, subsidiando a sua melhoria da qualidade e dando garantias do produto ao consumidor controlando possíveis fraudes.

A caracterização qualitativa dos méis, ou de qualquer alimento, é imprescindível como parte das estratégias de valorização do produto, pois confere uma identidade regional, além de agregar valor ao produto (BENDINI; SOUZA, 2008). Para Araújo et al. (2006), o fato de o mel, mesmo após a colheita, continuar sofrendo modificações físicas, químicas e organolépticas, gera a necessidade de produzi-lo dentro de níveis elevados de qualidade, controlando todas as etapas de seu processamento, com o objetivo de garantir um produto com excelente qualidade para o consumidor.

2.2 Espécies de abelhas estudadas

2.2.1 Espécie exótica

As abelhas *Apis mellifera* não são nativas das Américas. No Brasil, na região Sul, os imigrantes europeus introduziram diferentes raças de *Apis mellifera* (*Apis mellifera mellifera*, *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera carnica*, *Apis mellifera caucasica*). Em 1956, o Professor Warwick Estevam Kerr trouxe rainhas africanas (*Apis mellifera scutellata*) para estabelecer um programa de seleção visando obter híbridos

que apresentassem a mansidão das abelhas européias e a produtividade das africanas. As rainhas sobreviventes passaram a compor o estoque genético africano inicial introduzido no Horto de Camaquã, em Rio Claro/SP. Entretanto, o programa estabelecido nem pode ser iniciado, pois um apicultor visitante, acidentalmente, deixou rainhas escaparem de onde estavam confinadas e causou a enxameação de algumas colônias. A partir de então, iniciou-se a africanização das abelhas no Brasil (WIESE, 2000).

A variabilidade genética dessas abelhas é muito grande, havendo uma predominância das características das abelhas européias no Sul do País; enquanto ao Norte predominam as características das abelhas africanas. A abelha africanizada possui um comportamento bem parecido com o da *Apis mellifera scutellata*, em razão da maior adaptabilidade dessa raça às condições climáticas aqui do Brasil. Bastante agressivas, porém menos que as africanas, a abelha do Brasil, a “africanizada”, tem grande facilidade de enxamear, alta produtividade, tolerância a doenças e adapta-se bem a climas mais frios, continuando o trabalho em temperaturas baixas (PEREIRA et al., 2003b).

2.2.2 Espécies nativas

O Brasil é rico em espécies de abelhas sociais nativas, conhecidas popularmente como abelhas indígenas sem ferrão, ou meliponíneos. Deve-se ressaltar que essas abelhas apresentam ferrão, mas, por ser atrofiado, este não pode ser usado como meio de defesa. Essas abelhas ocorrem praticamente em todos os habitats e, comparativamente, possuem uma diversidade bem maior e mais especializada que as abelhas *Apis mellifera*, pois possuem 52 gêneros, com um total de mais de 400 espécies, distribuídas em todo o mundo; enquanto as *Apis mellifera* possuem apenas 8 espécies (PRONÍ, 2000). Câmara et al. (2004) ressaltam que a criação racional (a meliponicultura) desenvolve-se principalmente na região Nordeste do Brasil, onde as abelhas são manejadas há muito tempo com técnicas já bastante conhecidas.

A *Melipona quadrifasciata*, conhecida popularmente como *mandaçaia*, distribui-se na costa do Brasil desde a Paraíba até o Rio Grande do Sul. São conhecidas duas subespécies: a *Melipona quadrifasciata anthidioides* e *Melipona quadrifasciata*

quadrifasciata (SILVA, 2007c). De acordo com Neves e Castro (2003), essas abelhas são bastante importantes para a polinização de muitas plantas da caatinga (p.ex., *jurema* – *Mimosa tenuiflora*) e produzem um mel muito saboroso e de grande valor comercial. Os autores ressaltam que essa espécie, que já foi abundante na caatinga brasileira, teve sua população reduzida principalmente por causa da destruição dos ninhos pelos meleiros para a retirada do mel.

A *Melipona mandacaia*, também conhecida como *mandaçaia*, segundo Alves et al. (2007) habita as regiões semiáridas do Estado da Bahia e nidifica preferencialmente em cavidades de umburana-de-cambão, *Commiphora leptophloeos* (Mart.) Gillett.

A *Melipona scutellaris*, conhecida como *uruçu do Nordeste*, habita principalmente áreas florestadas. É uma abelha que produz um mel de excelente qualidade e de elevado valor comercial. Entretanto, segundo Pereira et al. (2003b), não há muitas informações acerca dos aspectos reológicos do mel, o que indica a necessidade de estudos que abordem com profundidade os aspectos qualitativos do produto.

A abelha *jandaíra* (*Melipona subnitida*) é um meliponíneo típico do sertão. Para Ferraz et al. (2006), é uma espécie que habita as regiões áridas e pedregosas da caatinga, formando ninhos em espécies vegetais típicas do semiárido nordestino como a imburana (*Bursera leptophloeos*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*) e cumaru (*Dipteryx odorata*), com importante papel nos nichos ecológicos da paisagem da caatinga, sendo responsáveis por 50% da polinização da flora silvestre.

A *Melipona fasciculata* ocorre no nordeste da região amazônica, nos Estados do Pará e Maranhão. É uma espécie relativamente rara em áreas de terra firme, mas ainda muito abundante nas regiões de mangue, em que ainda ocorrem muitas árvores com ocos suficientemente grandes para alojar suas famílias. Nos manguezais, a árvore onde normalmente o ninho desta abelha é encontrado chama-se siriúba ou mangue seriva (*Avicennia nitida* - Avicenniaceae). A espécie produz mel de excelente qualidade e em boa quantidade. Possui hábitos higiênicos (não coletam fezes) e armazenam seus méis em potes constituídos quase que exclusivamente de cera (VENTURIERI et al., 2003).

A *Tetragonisca angustula* (LATREILLE, 1811) (Hymenoptera, Meliponinae) é uma abelha nativa sem ferrão das mais comuns no neotrópico. Conhecida popularmente

como *jataí*, é uma forrageira generalista e das mais eficientes na polinização da flora na América. Embora essa espécie esteja bem distribuída nas Américas desde o sul do México até a Argentina, ela não tem sido observada na Cordilheira dos Andes, na caatinga do Nordeste brasileiro e em algumas regiões da Amazônia (OLIVEIRA et al., 2004).

2.3 Interação entre abelhas nativas e *Apis mellifera*

O habitat das abelhas *Apis mellifera* é bastante diversificado, pois habitam savanas, florestas tropicais, desertos e regiões litorâneas e montanhosas. Essa grande variedade de clima e vegetação acabou dando origem a subespécies ou raças de abelhas com diferentes características e adaptadas às diversas condições ambientais. No Brasil, a abelha é um híbrido das abelhas européias (*Apis mellifera mellifera*, *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera caucasica* e *Apis mellifera carnica*) com a abelha africana *Apis mellifera scutellata* (PEREIRA et al., 2003b).

Por ser a abelha *Apis mellifera* L. uma espécie introduzida na América, a competição entre ela e as abelhas nativas é um assunto que interessa à comunidade científica da área. De acordo com Goulson (2003), a introdução de abelhas exóticas pode levar à concorrência desta com as nativas na busca por alimento em flores, à transmissão de parasitas ou patógenos às abelhas nativas, à alteração na produção de sementes pelas plantas nativas (aumento ou diminuição) e polinização de plantas daninhas exóticas. Para mostrar a relevância do tema, Goulson (2003) e Paini (2004) abordam o aspecto alimentar para evidenciar os impactos da relação entre ambas. Para o autor, como a capacidade de consumo de alimento pelas abelhas exóticas é elevada, há a diminuição da oferta de alimento para os polinizadores locais (abelhas nativas) e, por isso, elas têm o potencial de interferir na estabilidade das populações nativas.

Menezes et al. (2007), estudando competição entre abelhas durante o forrageamento em *Schefflera arboricola*, constataram que o fato de *Apis mellifera* apresentar capacidade de forragear em temperaturas mais baixas do que a maioria dos meliponíneos garante-lhe acesso às flores mais cedo do que as abelhas de pequeno e médio porte. Os autores comprovaram que, ao amanhecer, a *Apis mellifera* era predominante, justamente no horário em que a planta possuía mais alimento disponível.

Também observaram mudança de comportamento de *Scaptotrigona depilis* nas flores sem a presença de *Apis mellifera*, uma vez que a espécie visitou três vezes menos flores de *S. arboricola* na ausência de *Apis mellifera*, mudou o tempo de permanência nas flores e passou a coletar néctar em vez de pólen.

Um estudo conduzido por Minussi e Santos (2007), em que analisaram o comportamento de abelhas nativas versus *Apis mellifera* em flores de *Cucurbita maxima*, indicou que as abelhas *Apis mellifera* visitam intensamente as flores entre 6 e 8 horas da manhã. Já abelhas da família Halictidae (abelha nativa) iniciam as visitas após as 8 horas e, ao chegarem à flor, dirigem-se diretamente para o fundo. Caso a flor já contivesse indivíduos de *Apis mellifera* no seu interior, a abelha nativa investia sobre elas e as expulsava. O comportamento mais frequente que observaram foi de abertura das mandíbulas e investida sobre o indivíduo *Apis mellifera*.

De qualquer modo, a situação atual com relação ao desaparecimento das abelhas nativas está fortemente relacionada com as ações antrópicas e com as interações com as abelhas introduzidas. No entanto, os estudos realizados ainda não conseguiram mensurar o efeito de um ou de outro fator, separadamente, nas populações de abelhas nativas a longo prazo (GOULSON, 2003; PAINI, 2004).

2.4 A flora apícola e os aspectos da relação abelha-flor

A flora apícola, também conhecida como pastagem apícola, representa a vegetação com flores que dá o suprimento de néctar e pólen para as abelhas (WIESE, 2000). Essa vegetação pode ser primária, secundária, terciária ou, ainda, reflorestada.

Para Wiese (2000), a vegetação primária é formada pela mata virgem constituída por plantas nativas (no Brasil há mais de 30.000 espécies, umas altamente melíferas, outras menos, e algumas sem qualquer valor para a produção de mel). A vegetação secundária ou terciária corresponde à mata nativa derrubada e queimada para a roça durante um ou dois anos, que, depois de abandonada, dá lugar para o aparecimento de uma nova vegetação. Já a vegetação reflorestada, a depender da espécie, por vezes representa um excelente campo floral para a atividade apícola (por exemplo, o eucalipto).

As informações sobre os recursos florais necessários à manutenção das comunidades de abelhas em habitats naturais brasileiros ainda são poucas (AGUIAR, 2003). No entanto, há relatos na literatura brasileira sobre estudos da flora apícola de distintas regiões (GONÇALVES et al., 1996; FARIA-MUCCI et al., 2003; LOCATELLI et al., 2004; VIANA et al., 2006, VIEIRA et al., 2008; REIS, 2009).

A partir do conhecimento sobre a comunidade de plantas visitadas por abelhas, é possível entender como interagem as abelhas e as flores em uma determinada região produtora de mel. Além disso, informações dessa natureza são importantes para a definição de uma apicultura produtiva, tornando possível o estabelecimento de metas para a exploração racional desta atividade (VIEIRA et al., 2008).

Segundo Morgado et al. (2002), as abelhas possuem uma estreita relação com as plantas angiospermas, relação que se baseia na troca de recompensas; na maioria das vezes, a visita floral é motivada pela oferta de néctar, pólen e fragrâncias, que são utilizadas tanto pelas abelhas adultas como também por suas proles. Sabendo-se que as abelhas são importantes agentes de polinização das espécies de plantas, Costa (2005) ressalta que nessa relação as plantas trocam reprodução sexuada de grande benefício por produção de alimento de baixo custo; enquanto os polinizadores, as abelhas, trocam serviço de polinização praticamente gratuito por livre acesso a ricas fontes energéticas.

De acordo com Molinero et al. (2007), uma abelha visita cerca de dez flores por minuto em busca de pólen e de néctar, e faz em média quarenta voos diários, tocando em aproximadamente 40 mil flores. Pacheco et al. (2007) identificaram que, em uma única viagem de coleta, as abelhas da espécie *Apis mellifera* podem coletar pólen de espécies vegetais diferentes. Reis (2009) reforça a informação dizendo que a espécie citada é caracterizada como politrófica, pois faz uso de uma grande diversidade de flores, portanto generalista no hábito alimentar, e poliléticas, por usar várias espécies de plantas para a coleta de pólen.

Algumas espécies vegetais provavelmente são mais atrativas às abelhas por possuírem maior número de indivíduos floridos e/ou mais recursos tróficos em comparação a outras que não apresentam tais características. Estas espécies representaram importantes fontes de recursos e provavelmente exercem forte influência

sobre a estrutura da comunidade de abelhas (LOCATELLI et al., 2004; CASCAES, 2008).

Viana et al. (2006) ressaltam que a relação abelha-flor não pode estar associada a uma única característica floral, mas a várias características florais, que envolvem, dentre outras, os modos de atração, como odor, cor, tipo e forma da flor e tipo de recurso oferecido aos visitantes. Conforme Faria-Mucci et al. (2003), de maneira geral, a maior frequência de abelhas em determinados padrões florais se deve muito mais às oportunidades, relacionadas à disponibilidade dos recursos, do que a uma relação de especificidade, especialmente, no caso de alguns grupos de Apidae, que são espécies sociais, com um eficiente sistema de recrutamento de indivíduos para uma determinada fonte floral.

2.5 Importância do mel para a alimentação

O mel é utilizado como alimento desde a antiguidade, pois registros relatam que a apicultura e os produtos apícolas já eram utilizados pelos egípcios há cerca de cinco mil anos (JATI, 2007). É um dos alimentos mais puros da natureza (MESQUITA et al., 2007). Para Wiese (2000), é o melhor e mais antigo adoçante utilizado para uso familiar ou industrial, rico em nutrientes de reconhecido valor energético. Possui dois açúcares – glicose e frutose, sais minerais e outros que são absorvidos no sangue sem digestão prévia, proporcionando energia rápida.

Para Silva et al. (2006), a ação do mel sobre o organismo humano deve-se não só à sua alta ação energética, mas principalmente às enzimas e elementos químicos importantes para o bom funcionamento do organismo – os oligoelementos. O mel possui a maioria dos elementos minerais essenciais ao organismo humano, especialmente o selênio, manganês, zinco, cromo e alumínio. É pobre em vitaminas, apresentando poucas variedades contendo traços de vitaminas A, B2, C e B6.

Estudando o mel como substituto da glucose de milho na fabricação de sorvetes, Trindade et al. (2007) observaram que a substituição não causou alterações no sorvete, que ficou com um leve sabor e atributos que não deixaram a desejar em relação ao sorvete convencional. O sorvete mostrou-se com ótima aparência, bom

rendimento, liga e maciez excelentes, além do valor nutricional agregado graças à utilização do mel.

É provável que o consumo do mel, além de como alimento, se deva em parte ao seu valor terapêutico (WIESE, 2000; GONÇALVES et al., 2005; PASSAMANI, 2005; VENTURINI et al., 2007; MORAIS, 2008). Conforme Silva et al. (2006), o emprego do mel na medicina data da mais remota antiguidade. Celsius, um dos grandes vultos da medicina no primeiro século da era cristã, já afirmava que o mel tinha ação aglutinante sobre ferimentos. De acordo com Wiese (2000), o mel proporciona no corpo os efeitos imunológico, antibacteriano, anti-inflamatório, analgésico, expectorante e hipersensibilizante.

Em pesquisa do SEBRAE sobre o consumo de mel no Brasil (SALOMÉ, 2008), ficou constatado que o consumo se dá principalmente com fins medicinais (36,5%), que 28,2% consomem o mel na forma pura e 32,9% costumam utilizá-lo como acompanhamento de pães, bolos, sucos etc. Os demais, 2,4%, utilizam o mel como produto de beleza ou para outras finalidades. Os entrevistados que consomem mel, como acompanhamento ou puro, tendem a consumi-lo com maior frequência. Já os que o utilizam como remédio, o fazem com menor frequência – apenas nas situações em que estão enfermos.

Em um levantamento sobre o consumo de produtos produzidos por abelhas por comunidades do médio Araguaia, Mato Grosso, Modro et al. (2009) constataram que o mel é utilizado principalmente para fins medicinais e alimentícios.

2.6 Composição do mel e requisitos para a análise de qualidade

Quanto à composição, o mel é uma solução concentrada de açúcares, predominando glicose e frutose. Contém, também, uma mistura complexa de outros hidratos de carbono, enzimas, aminoácidos, ácidos orgânicos, minerais, substâncias aromáticas, pigmentos e grãos de pólen, podendo conter cera de abelhas procedente do processo de extração. Por lei, não pode haver adição de açúcares e/ou outras substâncias que alterem a sua composição original (BRASIL, 2000).

A composição física e química do mel pode ser variável naturalmente, tendo em vista a interferência de fatores como: estágio de maturação do produto, condições

climáticas predominantes, espécies de abelhas e tipo de florada (SILVA et al., 2004). Para Azeredo et al. (2003), o mel também pode ter sua composição variada em função do processamento e do armazenamento.

De acordo com Silva et al. (2009), essa dependência com os fatores citados acima é refletida na cor, no sabor, no odor e nas características físico-químicas dos méis, cuja diversidade é tão ampla quanto as condições em que o mesmo é produzido. Desse modo, a caracterização de méis produzidos em determinadas condições locais define a sua qualidade no mercado, estabelecendo as características inerentes à sua origem, possibilitando sua padronização e fornecendo informações para garantir o controle de qualidade do produto contra eventuais modificações. Para Marchini (2001), os resultados da caracterização podem ser comparados com os padrões estabelecidos por órgãos oficiais internacionais ou com os estabelecidos pelo próprio país, para, então, controlar fraudes e proteger o consumidor de adquirir um produto alterado.

Os requisitos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o controle de qualidade do mel – instrução normativa nº 11, de 20 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000) – estão categorizados em três segmentos: 1) características sensoriais: cor, sabor e aroma, consistência; 2) características físico-químicas: maturidade (umidade, açúcares redutores, sacarose aparente), pureza (sólidos insolúveis em água, cinzas, grãos de pólen), deterioração (fermentação, acidez, atividade diastásica, hidroximetilfurfural) e 3) acondicionamento.

2.6.1 Características sensoriais

Pelos critérios da legislação brasileira, a cor é variável de quase incolor a pardo-escura, segundo sua origem (BRASIL, 2000). De acordo com Venturini et al. (2007), o mel apresenta coloração que depende praticamente da origem da flor, podendo ser claro, vermelho, dourado ou escuro. Geralmente, quanto mais escuro o mel, maior quantidade de minerais ele possui, porém menor valor comercial, pois a cor clara é mais aceita no mercado mundial.

O sabor e o aroma devem ser característicos de acordo com a sua origem, e a consistência variável de acordo com o estado físico em que o mel se apresenta (BRASIL, 2000). Quanto ao sabor, pode ser doce, ácido e até mesmo amargo, variando

segundo a planta que produziu o néctar para as abelhas. O mel com sabor delicado é sempre claro; já o escuro normalmente tem um sabor forte, indicando que a cor pode estar altamente correlacionada com o sabor. Com relação ao aroma, ele é variável de acordo com a origem da planta, clima, solo e até mesmo com o manejo do apicultor (VENTURINI et al., 2007).

2.6.2 Características físico-químicas

Com relação à maturidade, a umidade é um dos principais parâmetros de análise da qualidade do mel, não sendo tolerados valores superiores a 20%, segundo as normas firmadas pelo governo brasileiro (BRASIL, 2000). De acordo com Terrab et al. (2003), a umidade pode influenciar na viscosidade, peso específico, maturação, cristalização, sabor e conservação do mel, visto que microrganismos osmófilos podem provocar a fermentação quando a umidade for muito elevada (GLEITER et al., 2006). A literatura indica que a maioria dos méis avaliados no Brasil atende às exigências quanto ao teor de água (ARRUDA et al., 2004; SILVA et al., 2004; BENDINI; SOUZA, 2008; MENDONÇA et al., 2008; WELKE et al., 2008; SILVA et al., 2009).

Os açúcares redutores, que são calculados como açúcares invertidos, devem apresentar um valor mínimo de 65% (BRASIL, 2000). De acordo com Mendonça et al. (2008), valores abaixo de 65% podem ser um indicativo de que o mel ainda se encontrava em processo de amadurecimento no interior da colônia na ocasião da colheita.

Para Sodré et al. (2007), a sacarose aparente é uma característica de grande importância no mel, uma vez que está associada à sua qualidade. Na maioria dos méis de origem floral, os açúcares aparentes representam a maioria dos açúcares presentes (BOGDANOV et al., 2000). Pelas normas brasileiras, os valores não podem exceder 6% (BRASIL, 2000), pois podem ser indicativos de um mel muito fresco ou que tenha sido adulterado (SODRÉ et al., 2007).

Em relação à pureza, a exigência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento é de que os sólidos insolúveis em água sejam de no máximo 0,1%, exceto no mel prensado, que se tolera até 0,5%, unicamente em produtos acondicionados para venda direta ao público (BRASIL, 2000). Para Silva et al. (2009),

este parâmetro está relacionado com a quantidade de sujeira presente no mel, oriunda do campo.

O teor de cinzas, que expressa a riqueza do mel em minerais, se constitui em uma característica bastante utilizada para aferição da qualidade do mel (SOUZA et al., 2009) e como indicativo da origem botânica (BOGDANOV et al., 2000). O mel puro, quando processado corretamente, apresenta baixos teores de cinzas. Portanto, é um parâmetro que permite identificar algumas irregularidades no mel, como por exemplo, resíduos de tinta, insetos, pedaços de madeira e cera do favo. Ou seja, está diretamente ligado à falta de cuidados de higiene e a não decantação e/ou filtração no final do processo do mel pelo apicultor (PAULINO; MARCUCCI, 2009). A quantidade de cinzas admitida em méis de origem floral não pode exceder 0,6% (BRASIL, 2000). No que tange aos grãos de pólen, a legislação brasileira estabelece que o mel deve necessariamente apresentá-los, sem fazer qualquer menção quantitativa.

Já com relação à deterioração, o mel não deve apresentar quaisquer indícios de fermentação (BRASIL, 2000). A acidez, que é um critério importante de avaliação do mel, influencia no flavor e conservação (AROUCHA et al., 2008), uma vez que é fortemente alterada pela fermentação (BOGDANOV et al., 2000). O valor máximo admitido é de 50 miliequivalentes por quilograma (BRASIL, 2000).

Quanto à atividade diastásica, que é uma maneira de verificar atividade enzimática no mel, a ausência dela indica procedimentos e/ou adulterações realizadas no mel, tais como uso de temperatura superior a 60 °C durante o beneficiamento, adição de açúcar invertido ou condições inadequadas de armazenamento (AROUCHA et al., 2008). O valor mínimo deve ser de 8 na escala de Göthe. Méis com baixo conteúdo enzimático devem ter como mínimo uma atividade diastásica correspondente a 3 na escala de Göthe, desde que o conteúdo de hidroximetilfurfural não exceda a 15 mg kg⁻¹ (BRASIL, 2000). Entretanto, Bogdanov et al. (2000) ressaltam que alguns méis monoflorais possuem naturalmente uma baixa atividade diastásica.

O hidroximetilfurfural (HMF) é um excelente índice de qualidade do mel. Normalmente, está ausente em méis recém-colhidos e sua concentração tende a crescer com o envelhecimento (BASTOS et al., 2002; SPANO et al., 2006; FINOLA et al., 2007). Níveis elevados podem indicar modificações provocadas por longo período de

armazenamento em condições inadequadas, superaquecimento ou adulterações provocadas por adição de açúcar invertido (NOZAL et al., 2001; SILVA et al., 2004; MARCHINI et al., 2005).

Por muitas vezes é necessário aquecer o mel para reduzir a viscosidade, impedir a cristalização e fermentação do produto, ou destruir microrganismos contaminantes. Porém, por outro lado, o aquecimento favorece a formação de HMF (TOSI et al., 2002; FALLICO et al., 2004). Segundo Venturini et al. (2007), quanto maior o teor de hidroximetilfurfural, menor é o valor nutricional do mel, em razão da destruição, por meio de aquecimento, de determinadas vitaminas e enzimas. Fallico et al. (2004) informam que além do tempo e da temperatura de aquecimento, diferentes composições e diferentes valores de pH do mel podem levar a diferentes níveis de HMF.

O limite máximo fixado pela legislação brasileira para HMF em méis é de 60 mg kg⁻¹ (BRASIL, 2000). Já o Codex Alimentarius prevê um limite de 80 mg kg⁻¹ de HMF para méis provenientes de países tropicais, pois nos países quentes o teor de HMF do mel tende a aumentar mais rapidamente durante o armazenamento (BOGDANOV et al., 2000).

2.6.3 Outras análises

Há outras análises que não estão contempladas pela instrução normativa do Ministério da Agricultura, mas que são comumente empregadas para avaliar a qualidade do mel, a saber: viscosidade, atividade da água, condutividade elétrica, proteínas, pH e índice de formol.

A consistência do mel, característica expressa pela viscosidade tem, como em outros alimentos, importância industrial e comercial. Do ponto de vista industrial, maior viscosidade implica maiores custos na centrifugação, decantação e misturas, ocasionados por acréscimos nos tempos de operação e gastos energéticos. Comercialmente, a qualidade do mel é associada, pelo consumidor, ao comportamento reológico, que identifica o mel puro como um produto de viscosidade elevada (QUEIROZ et al., 2007). Em estudo sobre o comportamento reológico de méis produzidos a partir de florada silvestre, Queiroz et al. (2007) encontraram que o mel analisado apresentou

comportamento não-newtoniano, com característica pseudoplástica. Ou seja, a viscosidade do mel diminui quando se aumenta a intensidade da força aplicada.

A atividade da água é uma medida que determina a água disponível no alimento para o metabolismo microbiano. Quando se leva em consideração a quantidade de água no mel, a alta higroscopicidade do produto é uma característica a ser observada. Um ambiente com alta umidade relativa induz a trocas em sua composição, altera a atividade da água e, conseqüentemente, favorece a deterioração do produto. A literatura coloca 0,54 e 0,75 como valores limítrofes de atividade de água para multiplicação de bactérias halofílicas, bolores xerofílicos e leveduras osmofílicas (DENARDI et al., 2005).

A condutividade elétrica tem sido proposta para determinar a origem botânica do mel e, atualmente, já substitui a determinação de cinzas nas análises de rotina. Existe uma relação linear entre o conteúdo de cinzas e a condutividade elétrica, expressa pela equação $CE = 0,14 + 1,74a$, em que CE é a condutividade elétrica (mS cm^{-1}) e a é o conteúdo de cinzas, em percentagem. A condutividade elétrica deve apresentar um valor máximo para méis de origem floral de até $0,8 \text{ mS cm}^{-1}$, sendo esse valor importante para a identificação da origem floral do mel. Valores superiores a $0,8 \text{ mS cm}^{-1}$ são indícios de que o mel pode não ser de origem floral (BOGDANOV, 2000).

Apesar de a legislação brasileira não incluir a análise de proteínas como índice de qualidade do mel, esse parâmetro pode auxiliar na identificação de méis adulterados. Os valores de proteínas relatados para méis são bastante variados, no entanto normalmente não ultrapassam 1,00% (MENDONÇA et al., 2008).

O pH, junto com a acidez, é considerado um importante fator antimicrobiano, provendo maior estabilidade ao produto quanto ao desenvolvimento de microrganismos. Embora não haja valores de referência estabelecidos para aferição da qualidade do mel (SOUZA et al., 2009), Venturini et al. (2007) informam que o pH ideal para o mel deve ser inferior a 4,0.

O índice de formol representa, predominantemente, os compostos aminados. É a partir dele que se avalia o conteúdo de peptídeos, proteínas e aminoácidos. Este índice é um importante componente indicador de alterações, sendo utilizado para a aferição da qualidade do mel. Quando o valor é muito baixo pode ser indicativo da

presença de produtos artificiais. Por outro lado, quando excessivamente alto, evidencia que as abelhas foram alimentadas com hidrolisado de proteína (HUIDOBRO, 1995).

2.6.4 Acondicionamento

O mel pode apresentar-se a granel ou fracionado. Deve ser acondicionado em embalagem própria para alimento, adequada para as condições previstas de armazenamento e que confira uma proteção adequada contra qualquer tipo de contaminação. O mel em favos e o mel com pedaços de favos só devem ser acondicionados em embalagens destinadas para sua venda direta ao público (BRASIL, 2000).

2.7 Voltametria

A voltametria é uma técnica eletroquímica que consiste em conhecer as informações qualitativas e quantitativas de uma espécie química a partir de curvas corrente-potencial, construídas durante a eletrólise dessa espécie em uma cela eletroquímica constituída de no mínimo dois eletrodos: um deles um microeletrodo (o eletrodo de trabalho) e o outro um eletrodo de superfície relativamente grande (usualmente um eletrodo de referência). O potencial é aplicado entre os dois eletrodos em forma de varredura, ou seja, variando-o a uma velocidade constante em função do tempo. O potencial e a corrente resultante são registrados simultaneamente. A curva corrente *versus* potencial é denominada de voltamograma (ALEIXO, 2003).

A aplicação da eletroanálise com métodos bastante sensíveis para a medida de traços e ultra-traços de metais tornou-se comum nos últimos anos (NOBRE; MAZO, 1997). Para Catarino et al. (1999), a voltametria nas suas diversas variantes é um método de análise com grandes potencialidades, principalmente pelas baixas concentrações que permite quantificar, pela elevada seletividade que possui, a qual pode ser vantajosa pela simples modificação de algumas variáveis eletroquímicas e pelo baixo custo quando comparada a outras técnicas de análise, nomeadamente a espectrofotometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica. Para Silva (2007a), outras vantagens que as técnicas voltamétricas oferecem atualmente são de

não serem destrutivas, apresentarem tempo de análise curto e permitirem determinação simultânea de vários analitos por meio de uma simples varredura.

A maneira como o potencial elétrico é aplicado, e por consequência a forma como o sinal analítico é obtido, define o tipo de técnica voltamétrica a ser aplicado. As formas mais comuns de aplicação deste potencial são varredura linear, pulso diferencial, onda quadrada e voltametria cíclica. O modo de aquisição repercute na sensibilidade do método, principalmente por causa da magnitude da corrente capacitiva observada para cada caso, e também na seletividade devido ao formato do voltamograma e à largura dos pulsos de resposta medidos. Além do modo de aquisição, os métodos voltamétricos variam de acordo com as etapas utilizadas antes ou durante a medida do sinal, tais como a pré-concentração do material a ser analisado (proveniente da capacidade do material em reagir ou adsorver com o componente do eletrodo de trabalho) e direção da varredura de potencial. A escolha da técnica voltamétrica está relacionada com o tipo e a qualidade de informação quantitativa/qualitativa que se quer obter a respeito do material a ser analisado ou do processo que envolve a interação entre o material e o eletrodo de trabalho (PUC, 2010).

A voltametria vem sendo aplicada como ferramenta de análise para o estudo direto de proteínas desde 1950. Entretanto, até o final da década de 80, tais estudos eram direcionados para a análise qualitativa de metaloproteínas, isto é, na caracterização da transferência de elétrons entre o centro redox (metálico) da proteína e o eletrodo (SILVA, 2007b). A literatura registra o uso da voltametria em análise de metais (SILVA, 2007a; BENTO et al., 2008; RODRIGUES; FRAGA, 2010) e, particularmente, em análise de mel de abelhas (AZEREDO et al., 1998).

2.8 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Insetos Úteis, do Departamento de Entomologia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.

Foram avaliadas 56 amostras de méis de *Apis mellifera*, e 56 amostras de méis de Meliponíneos: *Tetragonisca angustula* (10 amostras), *Melipona scutellaris* (15

amostras), *M. quadrifasciata anthidioides* (10 amostras), *M. mandacaia* (2 amostras), *M. fasciculata* (9 amostras) e *M. subnitida* (10 amostras). Foram utilizadas amostras coletadas entre maio de 2008 e janeiro de 2010, provenientes de diferentes localidades do território brasileiro (Tabela 1) em suas respectivas épocas de produção. Foram utilizados dois métodos de extração das amostras: para *A. mellifera*, centrifugação convencional dos quadros; para os Meliponíneos, sucção com seringa descartável ou bomba elétrica. Nos dois métodos, os méis foram armazenados em potes plásticos com aproximadamente 200 mL. Quando chegaram ao laboratório de Insetos Úteis foram mantidas sob refrigeração.

Foram realizadas três repetições por amostra para cada parâmetro físico-químico analisado.

Tabela 1 – Locais de coleta, espécies de abelhas produtoras e codificação das amostras de mel
(continua)

Local	Espécie	Amostra
Camaçari - BA	<i>M. scutellaris</i>	60, 68, 70
Cruz das Almas - BA	<i>M. quadrifasciata anthidioides</i>	75, 77
Feira de Santana - BA	<i>A. mellifera</i>	48, 49
Itaberaba - BA	<i>M. quadrifasciata anthidioides</i>	72
Porto de Sauípe - BA	<i>M. scutellaris</i>	57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 71
Quijingue - BA	<i>M. quadrifasciata anthidioides</i>	74
Ribeira do Pombal - BA	<i>A. mellifera</i>	51
Salgadália - BA	<i>M. quadrifasciata anthidioides</i>	76, 78, 79, 80
Salvador - BA	<i>A. mellifera</i>	50
São Gabriel - BA	<i>M. mandacaia</i>	82, 83
Serrinha - BA	<i>M. quadrifasciata anthidioides</i>	73
Tucano - BA	<i>A. mellifera</i>	53, 54
Vera Cruz - BA	<i>M. scutellaris</i>	67
	<i>T. angustula</i>	92
Vitória da Conquista - BA	<i>A. mellifera</i>	52
Antônio Dias - MG	<i>A. mellifera</i>	15, 16
Barão de Cocais - MG	<i>A. mellifera</i>	18
Caratinga - MG	<i>A. mellifera</i>	19

Tabela 1 – Locais de coleta, espécies de abelhas produtoras e codificação das amostras de mel
(conclusão)

Local	Espécie	Amostra
Guanhães - MG	<i>A. mellifera</i>	14
Ipatinga - MG	<i>A. mellifera</i>	09, 10, 11, 12, 13, 40
Marliéria - MG	<i>A. mellifera</i>	17
Mesquita - MG	<i>A. mellifera</i>	20
Pingo D'água - MG	<i>A. mellifera</i>	21
Cassilândia - MS	<i>A. mellifera</i>	01
Mato Grosso do Sul	<i>A. mellifera</i>	35, 36
Soledade - PB	<i>M. subnitida</i>	103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112
Uruçuí - PI	<i>M. fasciculata</i>	94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102
Assis - PR	<i>A. mellifera</i>	41
Baía de Paranaguá	<i>A. mellifera</i>	37, 38, 39, 55, 56
Bandeirantes - PR	<i>A. mellifera</i>	42, 43
Ortigueiras - PR	<i>A. mellifera</i>	30, 31, 32, 33
Rolim de Moura - RO	<i>A. mellifera</i>	02
Bom Retiro - SC	<i>A. mellifera</i>	03, 04, 05, 06, 08
Urupema Mun. Bocaína do Sul - SC	<i>A. mellifera</i>	07
Campinas - SP	<i>A. mellifera</i>	44, 45, 46, 47
	<i>T. angustula</i>	93
Icém - SP	<i>A. mellifera</i>	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
	<i>M. quadrifasciata anthidioides</i>	81
	<i>T. angustula</i>	88, 89, 90, 91
Junqueirópolis - SP	<i>A. mellifera</i>	34
Piracicaba - SP	<i>T. angustula</i>	84, 85, 86, 87

2.8.1 Variáveis analisadas

2.8.1.1 Umidade

A umidade (%) das amostras de méis foi determinada por refratômetro manual ATAGO® (luz natural, temperatura ambiente). O referido aparelho dispõe de uma escala, que expressa o valor em °Brix, a partir do qual foi calculado o valor da umidade (%), conforme eq. (1). O método baseia-se no fenômeno da refração (relação entre as velocidades da luz no vácuo e numa substância) que um raio de luz sofre ao incidir na solução de mel, que contém sólidos solúveis.

$$U = 100 - ^\circ\text{Bx} \quad (1)$$

em que:

U = umidade, %; e

° Bx = ° Brix, %.

2.8.1.2 Atividade de água

De acordo com Decagon (2005), a atividade de água (a_w) de uma substância pode ser definida como a relação entre a pressão de vapor da água na amostra (P) e a pressão de vapor da água pura sob uma mesma temperatura (P_o).

Para a avaliação da a_w , foi colocado um volume aproximado de 7,5 mL da amostra de mel no aparelho Aqualab Série 3 modelo TE em seus respectivos copos descartáveis. Este aparelho utiliza a técnica de determinação do ponto de orvalho em espelho encapsulado.

2.8.1.3 Viscosidade

A viscosidade (cP ou mPa s) foi determinada com o viscosímetro Brookfield, modelo DV-I + digital com o adaptador para pequenas amostras e sensor de cisalhamento SC4 – 31, acoplado em um banho termostatzado, à temperatura de 25 °C ± 0,2. O princípio é medir o torque provocado pelo movimento rotacional do sensor de cisalhamento imerso no fluido analisado.

2.8.1.4 pH, acidez livre e índice de formol

O pH é definido como a concentração de íons de hidrogênio presentes em uma solução. A acidez livre (meq kg⁻¹) é a determinação da concentração da solução ácida, pela titulação com uma solução básica de concentração conhecida. O índice de formol (meq kg⁻¹) é a representação indireta da concentração de compostos aminados presentes em uma solução, pela titulação dos íons de hidrogênio liberados na reação dos compostos aminados com o formaldeído.

Os três parâmetros foram analisados em sequência. O pH e a acidez foram determinados segundo o método de Moraes e Teixeira (1998), com adaptação na padronização da concentração do hidróxido de sódio (eq. 2) e cálculo da acidez (eq. 3), e o índice de formol foi determinado conforme Moraes (1994), com adaptação do cálculo e expressão dos resultados (eq. 4).

$$[\text{NaOH}] = \frac{m}{204,22 \cdot V_{gp}} \quad (2)$$

$$Ac = (V_{ga} - V_{ba}) \cdot [\text{NaOH}] \cdot 1000/P \quad (3)$$

$$IF = (V_{gi} - V_{bi}) \cdot [\text{NaOH}] \cdot 1000/P \quad (4)$$

em que:

[NaOH] = concentração da solução de hidróxido de sódio, N;

m = massa do biftalato de potássio utilizado na padronização, g;

204,22 = massa molar do biftalato de potássio, g;

V_{gp} = volume gasto na padronização, L;

Ac = acidez livre, meq kg⁻¹;

V_{ga} = volume gasto na titulação da acidez livre, mL;

V_{ba} = volume gasto na titulação da água na solução de mel, mL;

IF = índice de formol, meq kg⁻¹;

V_{gi} = volume gasto na titulação do índice de formol, mL;

V_{bi} = volume gasto na titulação do branco para o índice de formol, mL;

1000 = fator de conversão de g para kg; e

P = massa da amostra, g.

2.8.1.5 Açúcares redutores e sacarose aparente

A determinação dos açúcares redutores e da sacarose aparente (%) foi realizada pelo método de Lane e Eynon (1934), utilizando-se algumas adaptações para obter melhor resultado na matriz mel. O método para ambas as determinações baseia-se na capacidade de açúcares redutores, como glicose e frutose, reduzirem o cobre presente na solução cuproalcalina (licor de Fehling), passando-o da forma Cu²⁺ para Cu⁺ (redução de íons cúpricos em cuprosos), sendo que os açúcares são oxidados a ácidos orgânicos. Sendo a sacarose um açúcar não redutor, é necessária a hidrólise ácida deste dissacarídeo, resultando em açúcar invertido (D-glicose e D-frutose).

O procedimento adotado foi o seguinte: pesaram-se aproximadamente 2,5 g da amostra de mel e dissolveu-se esta massa em água destilada para 50 mL (A) obtendo-se a solução da amostra.

Para a determinação dos açúcares redutores, foi pipetada da solução da amostra uma alíquota de 10 mL (b) que foi diluída para 200 mL (B). Essa solução foi utilizada para titular 10 mL do licor de Fehling, anotando-se o volume (V_a). O procedimento foi aplicado em 3 repetições, utilizando-se, no final, a média aritmética na eq. (5).

Para a determinação da sacarose, foi pipetada da solução da amostra uma alíquota de 10 mL (b) para um erlenmeyer com 20 mL de ácido clorídrico a 0,75 M, mantendo-a em banho-maria a 65 °C por 30 minutos. Em seguida, a solução foi deixada

à temperatura ambiente, neutralizada com hidróxido de sódio a 0,75 M, e diluída para 200 mL (B). Esta solução diluída foi utilizada para titular 10 mL do licor de Fehling, anotando-se o volume (Vah). O procedimento foi aplicado em 3 repetições, utilizando-se, no final, a média aritmética na eq. (6).

Para padronização do licor de Fehling, foi pipetada da solução padrão de açúcar invertido a 1% uma alíquota de 25 mL (c) que foi diluída para 100 mL (C). Esta solução diluída foi utilizada para titular 10 mL do licor, anotando-se o volume (Vp). O procedimento foi aplicado em 5 repetições, utilizando-se, no final, a média aritmética nas eqs. (5) e (6).

$$AR = \frac{Vp.A.B.c}{Va.P.b.C} \quad (5)$$

$$Sac = \left(\left(\frac{Vp.A.B.c}{Vah.P.b.C} \right) - AR \right) \times 0,95 \quad (6)$$

em que:

AR = açúcares redutores, %;

Vp = volume gasto na padronização do licor de Fehling, utilizando a solução diluída do padrão, mL;

P = massa da amostra, g;

A = volume do balão da solução da amostra, mL;

b = volume pipetado da solução da amostra para o balão da solução diluída, mL;

B = volume do balão da solução diluída da amostra, mL;

c = volume pipetado da solução padrão de açúcar invertido 1% para o balão da solução diluída do padrão, mL;

C = volume do balão na diluição da solução padrão de açúcar invertido 1%, mL;

Va = volume gasto na titulação da amostra utilizando a solução diluída da amostra, mL;

Sac = sacarose aparente, %;

Vah = volume gasto na titulação da amostra hidrolisada, utilizando a solução diluída da amostra após o processo de hidrólise da amostra, mL; e

0,95 = fator de conversão da porcentagem de açúcares redutores para porcentagem de sacarose aparente.

2.8.1.6 Teor de cinzas

O teor de cinzas (%) foi determinado pelo método proposto por Pregmolato (1985), fundamentando-se na perda de massa ocorrida na incineração do produto por meio da calcinação em mufla a 550 °C, com destruição da matéria orgânica.

2.8.1.7 Cor

A classificação de cor dos méis foi realizada em espectrofotômetro a 560 nm utilizando-se cubeta de vidro com caminho óptico de 10 mm, e a glicerina pura como branco (BRASIL, 2000).

2.8.1.8 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), definida como a capacidade dos íons presentes em uma solução em conduzir elétrons entre dois eletrodos, foi determinada em uma solução de água destilada a uma concentração de 20% de mel (RENDÓN, 1996). Para tanto, utilizou-se o condutivímetro modelo HI8820 na obtenção dos dados.

2.8.1.9 Minerais e elementos-traço: Hg, Cd, Zn, Pb e Cu

2.8.1.9.1 Digestão das amostras

Foram pesados aproximadamente 2 g da amostra de mel em balão de fundo chato de 250 mL e adicionados a ela 5 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3). Conectou-se um condensador de refluxo na boca do balão, mantendo este sobre a chapa aquecedora para haver refluxo da mistura por 30 minutos a aproximadamente 120 °C. Em seguida, o material foi resfriado à temperatura ambiente. Após resfriamento, adicionaram-se 2 mL de ácido nítrico (HNO_3) e 3 mL de ácido perclórico concentrado (HClO_4) para, novamente, submeter a um refluxo por 30 minutos. Após este procedimento, o condensador foi retirado para haver a eliminação dos ácidos e concentração da amostra. O concentrado foi diluído em água ultra pura (18,2 Mohm cm) para 25 mL.

A solução-branco, contendo apenas os ácidos, sofreu igual procedimento de digestão.

2.8.1.9.2 Equipamento e técnica polarográfica

Um analisador voltamétrico 797 VA Computrace Metrohm[®] foi utilizado para as medidas eletroquímicas. O analisador foi acoplado a um computador, que possui o programa 797 VA Computrace versão 1.3.1 Metrohm[®], para o registro e aquisição das medidas.

Na determinação dos metais, utilizou-se a técnica de Voltametria de Redissolução Anódica de Pulso Diferencial (DPASV) para determinar mercúrio ($\mu\text{g kg}^{-1}$), zinco (mg kg^{-1}), cádmio ($\mu\text{g kg}^{-1}$), chumbo (mg kg^{-1}) e cobre (mg kg^{-1}). A calibração foi feita por adição de padrão a cada amostra analisada. Os parâmetros e condições das análises são apresentados na Tabela 2.

Os reagentes e as soluções-padrão foram adquiridos na Sigma-Aldrich[®] e Quimlab SpecSol[®]. Todas as soluções foram preparadas utilizando-se água ultra pura

(18,2 Mohm cm) e armazenadas em frascos de vidro, sendo estes, e toda a vidraria, deixados em HNO_3 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ durante várias horas para a descontaminação. Antes do uso, todo o material foi enxaguado com água ultra pura.

Tabela 2 – Parâmetros e condições utilizadas na célula polarográfica para as determinações de Hg^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} e Cu^{2+} por voltametria de redissolução anódica de pulso diferencial

Parâmetros voltamétricos	Unidade	Hg^{2+}	Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} e Cu^{2+}
Volume da amostra diluída	mL	5	5
Volume de água ultra pura	mL	10	5
Eletrólitos			
Na ₂ EDTA $0,1 \text{ mol L}^{-1}$	mL	0,4	..
NaCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$	mL	1	..
KCl $1,5 \text{ mol L}^{-1}$ e Acetato de sódio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$	mL	..	1
Eletrodo de trabalho		Au-RDE	HMDE
Número de gotas		..	4
Eletrodo de referência		Ag/AgCl (LiCl 4 mol L^{-1})	Ag/AgCl (KCl 3 mol L^{-1})
Eletrodo auxiliar		Carbono vítreo	Platina
Velocidade de agitação	rpm	2000	2000
Tempo de purga (N_2 ultra puro)	s	300	300
Tempo de purga adicional	s	20	10
Potencial de limpeza	mV	800	..
Tempo de limpeza	s	30	..
Potencial de deposição	V	0,1	-1,15
Tempo de deposição	s	120	90
Tempo de equilíbrio	s	10	10
Amplitude do pulso	mV	50	0,05
Potencial inicial	V	0,1	-1,15
Potencial final	mV	650	50
Degrau de tensão	mV	2	6
Tempo do degrau de tensão	s	0,1	0,1
Taxa de varredura	V/s	0,02	0,06
Potencial do pico	V	0,58	
Zn^{2+}	V		-0,98
Cd^{2+}	V		-0,56
Pb^{2+}	V		-0,38
Cu^{2+}	V		-0,1

2.8.1.10 Hidroximetilfurfural

O hidroximetilfurfural (mg kg^{-1}) foi determinado conforme o método de White Júnior (1979) modificado por Bogdanov et al. (1997).

2.8.1.11 Atividade diastásica

A atividade diastásica foi determinada conforme o método de Schade et al. (1958) modificado por Bogdanov et al. (1997). A atividade diastásica (número correspondente da escala de Göthe) é obtida dividindo-se 300 pela tendência do tempo (min) necessário para ser obtido o ponto final específico (absorbância menor que 0,235). Este número expressa a atividade diastásica como sendo o volume (mL) de solução de amido a 1%, hidrolisado pela enzima amilase presente em 1 g do mel, por 1 hora, a uma temperatura de 40 °C.

2.8.2 Análises Estatísticas

2.8.2.1 Análise de variância (ANOVA)

Foram verificados os pressupostos da ANOVA por meio da família de transformação ótima de Box-Cox (1964) e o teste de Hartley (1950) foi aplicado para verificar a homogeneidade de variâncias. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, os tratamentos constituíam-se das espécies e regiões (Estados), analisados separadamente, ou seja, apenas um fator.

Uma vez verificados os pressupostos da ANOVA, aplicou-se o teste F ($p < 0,05$) para verificar possíveis diferenças entre tratamentos. Aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para as variáveis que apresentaram essa diferença.

Os dados foram analisados utilizando-se o programa computacional (SAS/STAT, 2003).

2.8.2.2 Análise de fatores associados aos componentes principais

Foram verificados os autovalores dos componentes principais (Anexo C) formados a partir da matriz de correlação de Pearson.

Para a análise de fatores, utilizaram-se os cinco primeiros componentes principais como fatores não rotacionados, por apresentarem autovalores (λ) acima de um, explicando, desse modo, 74,94% da variação dos dados.

Os dados foram analisados utilizando-se o programa computacional (SAS/STAT, 2003).

2.8.2.3 Análise discriminante canônica

Para verificar se os grupos de abelhas podem ser bem separados usando as variáveis físico-químicas, utilizou-se a análise discriminante canônica baseada nas distâncias de Mahalanobis (1948), por ser uma medida que leva em consideração as correlações individuais entre variáveis, com as quais distintos padrões podem ser identificados e analisados. Essa estatística é bastante útil para se determinar a similaridade entre uma amostra desconhecida e uma conhecida, distinguindo-se da distância euclidiana, já que leva em conta as correlações do conjunto de dados e é invariante à escala das medições.

A análise discriminante canônica encontra a combinação linear das variáveis dependentes que produza a maior diferenciação entre as duas ou mais variáveis independentes previamente definidas (MANLY, 2008). Posteriormente, usa-se a função (combinação linear) para categorizar novas amostras e a classificação para separar as amostras em grupos homogêneos. O número de grupos numa função discriminante é definido antes da análise, enquanto que a classificação desses grupos não é pré-estabelecida. Em nosso estudo, serão consideradas como grupos as diferentes espécies de abelhas.

Os dados foram analisados utilizando-se o programa computacional (XLSTAT-PRO, 2010).

2.9 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para as análises físico-químicas das 112 amostras de mel são apresentados no Anexo A.

2.9.1 Análise de variância (ANOVA)

2.9.1.1 Umidade

Os méis avaliados apresentaram valores percentuais médios de umidade estatisticamente diferentes entre algumas das espécies analisadas no Brasil, porém não houve diferença comparando-se as espécies de abelha produzindo méis em diferentes locais (Tabela 3). Isso mostra que o percentual de água do mel é uma característica intrínseca da espécie produtora, não havendo influência significativa da região de origem.

Tabela 3 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de umidade (%) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	17,8 a	17,4 a A	17,3 a A	18,2 A	17,9 A	18,0 A	18,8 A
TA	23,4 bc	24,2 a A	21,7 a A				
MQ	26,8 c	24,2 a A	16,8 a A				
MSC	21,7 b	21,7 a					
MM	24,5 bc	24,5 a					
MF	24,1 bc						
MSU	27,5 c						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

O mel de *Melipona subnitida* apresentou o maior valor de umidade (27,5%) e, de modo geral, os méis de Meliponíneos também apresentaram valores elevados. Esta característica torna estes méis mais suscetíveis ao desenvolvimento de microrganismos,

o que contribui de forma direta para o seu sabor levemente azedo. Souza et al. (2006a) encontraram valores de umidade entre 19,90 e 41,90% para diversas espécies de Meliponíneos.

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel (BRASIL, 2000), os méis devem ter no máximo 20% de umidade. Desse modo, os méis de Meliponíneos não se enquadram nesta regulamentação e, a fim de atender a esta exigência, devem sofrer um processo de desumidificação eficiente que não lhes altere a composição de vitaminas e enzimas.

2.9.1.2 Atividade de água

Assim como ocorrido para o parâmetro umidade, considerando a média nacional, houve diferença significativa entre os valores de atividade de água (a_w) para algumas das espécies estudadas. Foi possível separar estas espécies, significativamente, no Estado da Bahia, e também houve diferença nos méis produzidos por *A. mellifera* e *M. quadrifasciata* nos diferentes Estados avaliados, mostrando que a_w é uma característica que varia diretamente com o teor de água e a composição de cada tipo de mel.

De modo geral, a água livre em um alimento é a quantidade de moléculas de água que não estão sofrendo fixação na superfície de outra substância. Segundo Coultate (2009), o principal fator na estabilidade de um alimento não é, portanto, o teor de água, mas sim a disponibilidade da água para o crescimento de microorganismos e reações químicas. Hoje em dia, o conceito a_w é universalmente adotado por cientistas e tecnólogos da área de alimentos por quantificar a disponibilidade da água em um alimento.

A espécie que apresentou o maior valor médio de a_w foi *Melipona quadrifasciata*, com 0,723 (Tabela 4). A espécie *Apis mellifera* apresentou diferença significativa para este parâmetro nos diferentes Estados produtores, evidenciando desta forma que a composição química do mel foi alterada pela flora destes locais, sendo a flora o principal fator de diferenciação das características de um dado tipo de mel.

Os resultados neste estudo são menores do que os apresentados por Almeida-Muradian, Bastos e Matsuda (2006), para méis de *Melipona* no Estado do Amazonas, cuja variação foi de 0,74 a 0,76.

Tabela 4 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de atividade de água (decimal) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	0,589 c	0,577 b B	0,577 a B	0,597 AB	0,588 B	0,588 B	0,621 A
TA	0,657 b	0,706 a A	0,651 a A				
MQ	0,723 a	0,708 a A	0,580 a B				
MSC	0,645 b	0,645 ab					
MM	0,681 ab	0,681 a					
MF	0,682 ab						
MSU	0,716 a						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

2.9.1.3 Viscosidade

Houve grande variação para este parâmetro nas amostras analisadas. Neste contexto, o mel mais viscoso foi o da espécie *A. mellifera* e o menos viscoso foi o de *M. quadrifasciata* (Tabela 5). Considerando-se as médias nacionais, da Bahia e de São Paulo, houve diferença significativa na viscosidade para algumas das espécies estudadas, dentro de cada uma dessas localidades. Nos méis de *Apis mellifera*, houve diferença significativa de viscosidade em função das localidades.

Foi possível observar uma relação entre os valores de umidade e viscosidade, havendo proporcionalidade inversa para estes dois parâmetros; quando a umidade é maior, têm-se menores valores de viscosidade. Entretanto, o mel produzido por *Apis mellifera* no Mato Grosso do Sul apresentou o maior valor de viscosidade (46120 mPA s) e um elevado valor de umidade (18,2%) em relação à mesma espécie para as demais

localidades. Neste caso, pode-se levar em consideração o fato de que os méis têm suas características dependentes da florada de origem. A viscosidade está relacionada ao atrito dos compostos da matriz mel, isto é, das forças de coesão entre moléculas relativamente próximas e das forças de adesão. Dessa forma, méis com a mesma quantidade de água e diferentes composições químicas irão apresentar diferentes coeficientes de viscosidade.

Tabela 5 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de viscosidade (mPa s) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	15586 a	12485 a	B	16277 a	AB	46120 A	13403 AB
TA	3105 b	1116 bc	A	3354 b	A		
MQ	385 c	413 c					
MSC	2381 b	2381 b					
MM	765 bc	765 bc					
MF	985 bc						
MSU	502 c						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

Seemann e Neira (1988) afirmam que o conteúdo de água pode influenciar na viscosidade do produto. Desta forma, para méis de abelhas sem ferrão, são normalmente encontrados valores baixos para a viscosidade.

2.9.1.4 pH, acidez livre e índice de formol

Para os parâmetros pH, acidez livre e índice de formol (Tabela 6), as médias nacionais e as do Estado da Bahia foram significativamente diferentes entre as espécies analisadas. Para as espécies *A. mellifera*, *T. angustula* e *M. quadrifasciata* não houve diferença significativa entre os valores médios de pH, considerando as diferentes localidades.

Tabela 6 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de pH, acidez livre (meq kg⁻¹) e índice de formol (meq kg⁻¹) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾													
	pH													
	Brasil		BA		SP		MS		MG		PR		SC	
AM	3,92	d	3,86	ab	A	3,98	a	A	3,88	A	3,79	A	3,93	A
TA	3,79	cd	3,92	a	A	3,78	a	A						
MQ	3,38	ab	3,36	b	A	3,57	a	A						
MSC	3,70	bcd	3,70	ab										
MM	3,53	bc	3,53	ab										
MF	3,68	bcd												
MSU	3,16	a												

Espécies	Acidez livre													
	Brasil		BA		SP		MS		MG		PR		SC	
AM	26,99	c	33,54	ab	AB	26,01	b	B	21,62	B	20,89	B	22,78	B
TA	70,85	a	81,16	a	A	69,70	a	A						
MQ	65,55	ab	70,93	a	A	17,10	b	B						
MSC	26,92	c	26,92	b										
MM	28,65	c	28,65	b										
MF	32,89	bc												
MSU	64,27	ab												

Espécies	Índice de formol													
	Brasil		BA		SP		MS		MG		PR		SC	
AM	5,48	abc	7,15	b	AB	5,06	ab	AB	5,38	B	4,17	AB	5,74	AB
TA	11,41	a	18,19	a	A	10,65	a	A						
MQ	5,76	abc	6,25	bc	A	1,31	b	B						
MSC	2,65	c	2,65	c										
MM	3,83	bc	3,83	bc										
MF	7,56	ab												
MSU	11,63	a												

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

Em relação aos parâmetros acidez livre e índice de formol, houve diferença significativa entre as espécies apenas para os estados da Bahia e de São Paulo. Ainda para estes parâmetros, os méis de *Apis mellifera* e de *M. quadrifasciata* apresentaram diferenças significativas entre as localidades de origem, o que não ocorreu para o mel da espécie *T. angustula*.

Ao se fazer uma comparação entre os valores médios encontrados de acidez livre com o valor estabelecido no Regulamento Técnico (Brasil, 2000), os méis de *T. angustula*, *M. quadrifasciata* e *M. subnitida* estariam desclassificados para o consumo, pois apresentaram valores superiores a 50 meq kg^{-1} . Porém, a média para o mel de *A. mellifera*, em Santa Catarina, foi de $45,40 \text{ meq kg}^{-1}$, chegando próximo ao limite estabelecido pela regulamentação.

Em méis de diversas espécies de Meliponíneos, Souza et al. (2006a) encontraram valores de pH entre 3,15 e 4,66, e de acidez livre entre 5,9 e $109,0 \text{ meq kg}^{-1}$.

O potencial hidrogeniônico, a acidez livre e o índice de formol são parâmetros originalmente de natureza química dos méis. Contudo, os méis dos Meliponíneos, por apresentarem valores elevados de umidade e atividade de água, têm estas características químicas modificadas com o tempo de armazenamento. Esta quantidade de água livre, associada aos compostos presentes na matriz do mel, torna este meio um ótimo substrato para o desenvolvimento de microrganismos, que muitas vezes são de ordem patogênica.

2.9.1.5 Açúcares redutores e sacarose aparente

Os percentuais dos açúcares redutores no Brasil, e nos estados da Bahia e de São Paulo, variaram significativamente entre as espécies. Comparando-se as médias de cada espécie nos estados produtores, observa-se que não houve diferença apenas para *T. angustula* (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de açúcares redutores (%) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	72,16 a	69,58 a B	72,54 a A	70,94 B	75,70 A	69,36 B	72,45 AB
TA	55,02 d	54,71 b A	55,05 b A				
MQ	64,62 bc	63,80 a B	72,03 a A				
MSC	66,55 abc	66,55 a					
MM	68,81 ab	68,81 a					
MF	65,85 bc						
MSU	62,79 c						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

Os açúcares redutores são influenciados pela umidade, por ser o mel constituído basicamente de açúcares e água. Desse modo, quando o teor de água estiver elevado, o teor de açúcares tende a ser reduzido.

A regulamentação de mel brasileira prevê que os méis não devem ter valores inferiores a 65% de açúcares redutores. Assim, algumas espécies avaliadas não teriam teor de açúcar suficiente para ser regulamentada, como é o caso dos méis de *T. angustula*, *M. quadrifasciata* e *M. subnitida*, com valores 55,02, 64,62 e 62,79% respectivamente. Este aspecto poderia ser modificado com a desumidificação do mel, pois a regulamentação baseia-se no valor máximo de 20% de umidade. Portanto, com a redução no teor de água, os níveis de açúcares redutores seriam maiores e, possivelmente, o mel poderia vir a ser regulamentado.

A espécie *T. angustula* apresentou a menor média para o parâmetro açúcares redutores, com variação entre 43,79 e 62,19% (ANEXO B). Os valores observados são inferiores aos encontrados por Souza et al. (2006a) compilando o resultado de 152 amostras de méis de diferentes espécies de Meliponíneos, em 8 países do continente americano, cuja variação encontrada para *T. angustula* foi de 58 a 70,0%, sendo a média 63,15%.

Não houve diferença estatística nas médias de sacarose aparente, tanto entre as espécies, quanto entre as localidades avaliadas.

2.9.1.6 Teor de cinzas

Para as médias nacionais, as da Bahia e as do Estado de São Paulo, houve diferença estatística entre as espécies analisadas (Tabela 8).

Tabela 8 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de teor de cinzas (%) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	0,229 b	0,310 ab A	0,235 ab A	0,183 A	0,171 A	0,198 A	0,392 A
TA	0,428 a	0,506 ab A	0,420 a A				
MQ	0,108 bc	0,114 c A	0,060 b A				
MSC	0,199 bc	0,199 bc					
MM	0,094 bc	0,094 c					
MF	0,237 b						
MSU	0,038 c						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

O teor de cinzas expressa diretamente a quantidade de minerais presentes no mel. A regulamentação brasileira para o mel tolera, no máximo, 0,6% de cinzas. Assim, os valores médios de todas as amostras se enquadram na legislação, sendo que o maior valor foi encontrado na Bahia para a espécie *T. angustula* (0,506%).

Pamplona (1989), comparando amostras de méis de *A. mellifera* e Meliponíneos, constatou que o valor de minerais é de 2 a 3 vezes maior nas amostras de Meliponíneos. Entretanto, no presente estudo, esse fato foi confirmado apenas para a espécie *T. angustula*.

2.9.1.7 Cor

Para o caráter cor, comparando-se as médias nacionais, as sete espécies de abelhas ficaram separadas estatisticamente em dois grupos, sendo a maior média para espécie *T. angustula* (0,528 - âmbar) e a menor para *M. scutellaris* (0,253 - âmbar claro) (Tabela 9). Estatisticamente, para todos os Estados, não houve distinção entre a cor dos méis das espécies de abelha avaliadas.

Tabela 9 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de cor (absorbância) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	0,436 ab	0,495 a A	0,351 a A	0,378 A	0,455 A	0,355 A	0,649 A
TA	0,528 a	0,492 a A	0,532 a A				
MQ	0,497 ab	0,520 a A	0,286 a A				
MSC	0,253 b	0,254 a					
MM	0,267 ab	0,267 a					
MF	0,481 ab						
MSU	0,487 ab						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

A cor é uma das características determinantes para a escolha do consumidor, que na maioria das vezes escolhe o produto apenas pela aparência. Variações apresentadas na cor do mel estão relacionadas à sua origem floral, processamento e armazenamento, fatores climáticos durante o fluxo do néctar e a temperatura na qual o mel amadurece na colméia (SEEMANN; NEIRA, 1988).

2.9.1.8 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica está associada aos minerais presentes no mel. Os valores médios para este parâmetro foram significativamente diferentes entre as espécies, tanto a nível nacional como dentro de cada Estado.

A espécie *T. angustula* apresentou o maior valor de condutividade elétrica (1565 $\mu\text{S cm}^{-1}$), porém, quando comparada entre os Estados da Bahia e de São Paulo, não apresentou diferença significativa para este parâmetro. Mesmo assim, é evidente que esta característica é particular para determinadas espécies (Tabela 10).

Para condutividade elétrica das amostras de méis de *T. angustula*, Souza et al. (2006b) encontraram valor médio de 1362 $\mu\text{S cm}^{-1}$, resultado compatível aos encontrados neste estudo.

Tabela 10 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	444 cbd	615 b AB	428 b AB	353 B	352 B	409 AB	688 A
TA	1202 a	1565 a A	1161 a A				
MQ	549 bc	584 b A	229 b B				
MSC	631 b	631 b					
MM	292 cd	292 c					
MF	525 cbd						
MSU	288 d						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

2.9.1.9 Minerais e elementos-traço: Hg, Cd, Zn, Pb e Cu

O limite de detecção no procedimento para as análises de mercúrio foi de $2,5 \mu\text{g kg}^{-1}$. Nenhuma das amostras analisadas apresentou valores acima deste nível.

O valor máximo para a ingestão de mercúrio inorgânico proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é de $12 \mu\text{g Hg dia}^{-1}$, tomando-se como referência um adulto de 60 kg. Os méis avaliados apresentaram, portanto, valores insignificantes do elemento mineral mercúrio, se comparados com essa recomendação.

O zinco é um elemento essencial e está presente em vários componentes da dieta humana. Para dietas com moderada biodisponibilidade de zinco, a ingestão diária recomendada é: 3 - 5 mg para lactentes, 5 - 10 mg para as crianças, 9 - 18 mg para adultos e 13 - 25 mg para mulheres gestantes ou em lactação (SANDSTEAD et al., 1990).

Os valores médios de zinco para os méis no Brasil e na Bahia foram significativamente diferentes entre algumas espécies (Tabela 11), sendo que as espécies *M. subnitida* e *M. fasciculata* apresentaram os maiores valores na média nacional, e a espécie *T. angustula* apresentou o maior valor para o mel produzido na Bahia. Entre os Estados produtores de mel, *A. mellifera* em Minas Gerais apresentou o menor valor desse elemento, $0,765 \text{ mg kg}^{-1}$. Com base na ingestão diária de zinco, os méis avaliados contribuiriam muito pouco para o valor diário recomendado.

Segundo Salgado (2008), o cádmio é colocado em oitavo lugar na lista prioritária de substâncias listadas como sendo perigosas. A FAO (2005) estabeleceu, provisoriamente, a ingestão semanal tolerável de $7 \mu\text{g kg}^{-1}$ de massa corpórea.

Os valores de cádmio nos méis diferiram estatisticamente apenas para as médias nacionais (Tabela 11). O maior valor médio encontrado foi da espécie *M. subnitida* com $11,855 \mu\text{g kg}^{-1}$. Porém, mesmo apresentando o maior valor, este mel contribui muito pouco para o limite semanal estabelecido.

Tabela 11 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de zinco (mg kg⁻¹) e cádmio (µg kg⁻¹) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Zinco						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	1,434 de	1,683 ab B	1,306 a B	1,683 B	0,765 A	1,215 AB	2,991 B
TA	3,008 bc	4,226 b A	2,834 a A				
MQ	2,209 cde	2,158 ab A	2,662 a A				
MSC	0,902 e	0,902 a					
MM	2,815 bcd	2,815 b					
MF	5,155 ab						
MSU	5,862 a						

Espécies	Cádmio						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	3,486 b	4,724 a A	3,175 a A	2,63 A	3,18 A	2,88 A	5,004 A
TA	2,688 b	2,785 a A	2,674 a A				
MQ	3,654 b	2,774 a					
MSC	2,618 b	2,618 a					
MM	5,385 b	5,385 a					
MF	0,806 c						
MSU	11,855 a						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

Assim como o cádmio e o mercúrio, o chumbo é acumulativo no organismo. Com base nesse argumento, a OMS propôs, provisoriamente, a ingestão semanal tolerável de 25 µg kg⁻¹ de massa corpórea, o que equivale a 3,57 µg kg⁻¹ de massa corpórea por dia. É importante ressaltar que a portaria N°. 685, de 27 de agosto de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, estabeleceu o limite máximo de tolerância ao chumbo para diversos gêneros alimentícios, porém dentre os itens não há referência para valores em mel. Nos resultados apresentados (Tabela 12), houve diferença significativa entre as espécies apenas para as médias nacionais. A espécie *M. subnitida* apresentou o maior valor desse elemento, 2,642 mg kg⁻¹ e, neste caso, com base em um adulto de 60 kg, o consumo de 81 g deste mel seria o suficiente para atingir o máximo estabelecido pela OMS.

Segundo esta mesma portaria, o valor limite de referência para o cobre no mel é de 10 mg kg⁻¹. Nesta pesquisa, nenhuma das amostras analisadas atingiu este limite (Tabela 12).

Tabela 12 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de chumbo (mg kg⁻¹) e cobre (mg kg⁻¹) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Chumbo						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	0,383 b	0,280 a	A 0,458 a	A 0,382 A	0,364 A	0,438 A	0,204 A
TA	0,283 b	0,172 a	A 0,295 a	A			
MQ	0,128 b	0,134 a	A 0,079 a	A			
MSC	0,171 b	0,171 a					
MM	0,143 b	0,143 a					
MF	0,553 b						
MSU	2,642 a						

Espécies	Cobre						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	0,189 a	0,172 b	A 0,210 a	A 0,187 A	0,206 A	0,256 A	0,172 A
TA	0,349 a	0,805 a	A 0,436 a	A			
MQ	0,209 a	0,307 ab	A 0,143 a	A			
MSC	0,188 a	0,188 b					
MM	0,245 a	0,245 ab					
MF	0,308 a						
MSU	0,397 a						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

2.9.1.10 Hidroximetilfurfural

Existem várias vias para a síntese do hidroximetilfurfural (HMF), sendo que na matriz mel a formação deste composto é dada pela reação de oxidação do ácido ascórbico e pela reação de Maillard, as quais compreendem um processo não enzimático. O mel possui os componentes necessários à ocorrência destes processos (a

própria vitamina C e baixo pH para a reação de oxidação, e açúcares redutores e compostos aminados para a reação de Maillard), os quais podem ser acelerados ou retardados em função da variação da temperatura. Portanto, sendo o HMF um composto incolor, a cor escura observada nos méis é resultado de sua polimerização e da formação de melanoidinas, que são os compostos finais da reação de Maillard.

Comparando-se as médias nacionais para cada espécie, as concentrações de HMF foram estatisticamente diferentes, sendo as maiores médias atribuídas à espécie *A. mellifera* e as menores, à *T. angustula* (Tabela 13). O Regulamento Técnico brasileiro deixa claro que o mel não deve ter valor de HMF superior a 60 mg kg⁻¹. Dessa maneira, a média nacional para todas as espécies atenderia a este regulamento, entretanto, a média encontrada para *A. mellifera* nos Estados da Bahia e de Santa Catarina estariam em desconformidade com o regulamento. É provável que estes valores mais altos de HMF tenham sido influenciados diretamente pela acidez livre, pois nestes dois Estados foram encontrados também os maiores valores de acidez, sendo 33,54 e 45,40 respectivamente, conforme Tabela 6. Outro fator importante que pode também ter contribuído para o alto valor de HMF, no caso do Estado da Bahia, são as temperaturas médias anuais mais elevadas, que atuam acelerando o processo de formação desse composto.

Tabela 13 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de hidroximetilfurfural (mg kg⁻¹) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾						
	Brasil	BA	SP	MS	MG	PR	SC
AM	37,06 a	74,55 a AB	19,49 a B	40,65 AB	34,94 AB	11,72 B	79,54 A
TA	4,23 b		6,02 a				
MQ	11,02 ab	10,74 a A	13,57 a A				
MSC	5,91 ab	5,91 a					
MM	8,31 ab	16,12 a					
MF	6,95 ab						
MSU	7,10 ab						

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaiá* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

2.9.1.11 Atividade diastásica

O parâmetro atividade diastásica representa a quantidade de amido que pode ser hidrolisada pelo mel num dado intervalo de tempo. Deste modo, a partir dos resultados médios obtidos, e com o respaldo estatístico, pode-se sugerir que as espécies avaliadas sejam separadas em dois grupos: abelhas que possuem atividade considerável da enzima amilase, *A. mellifera* e *T. angustula*, e as que não possuem, todo o grupo das Melíponas.

Tabela 14 – Comparação entre os valores médios⁽¹⁾ de atividade diastásica (escala de Göthe) dos méis de diferentes espécies e localidades

Espécies ⁽²⁾	Localidades ⁽³⁾															
	Brasil			BA		SP		MS		MG		PR		SC		
AM	8,73	a	5,38	b	B	6,47	ab	AB	7,51	AB	7,03	AB	11,77	AB	12,36	A
TA	16,63	a	21,65	a	A	16,08	ab	A								
MQ	-	b	-	c	A	-	b	A								
MSC	-	b	-	c												
MM	-	b	-	c												
MF	0,60	b														
MSU	0,20	b														

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

⁽²⁾ *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

⁽³⁾ Brasil, Bahia (BA), São Paulo (SP), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Santa Catarina (SC)

Ressalta-se, portanto, que as duas últimas espécies de Melíponas apresentadas na tabela podem ter a enzima amilase presente em seus méis, porém com baixíssima atividade, tornando-se estatisticamente igual a zero.

Vit e Pulcini (1996), analisando os méis de diversas espécies de Meliponíneos, concluíram que a atividade da enzima diastase é considerada mais baixa nas abelhas do gênero *Melipona*.

2.9.2 Análise de fatores associados aos componentes principais

As variáveis físico-químicas da matriz mel estão bem correlacionadas, tornando-se difícil compreender sua variação de forma isolada. Assim sendo, é necessário descobrir como e o quanto estas variáveis se encontram correlacionadas, para poder aplicar as técnicas multivariadas.

Explorando as relações mútuas significativas entre as variáveis físico-químicas na matriz de correlação de Pearson (Tabela 15), é possível verificar que algumas características do mel são influenciadas por diversas variáveis. Pode-se, por exemplo, apontar que a característica Cor é influenciada pelas variáveis: condutividade (**0,403**), pH (**0,306**), índice de formol (**0,336**), hidroximetilfurfural (**0,592**), teor de cinzas (**0,519**), sacarose aparente (**0,197**) e cobre (**0,358**).

Mesmo conhecendo as variáveis que participam significativamente em um componente, necessitamos de ferramentas que ajudem a identificar com clareza o que realmente está contribuindo para o resultado. Neste contexto, a análise de fatores associados aos componentes principais é de suma importância para elucidar os componentes que explicam grande parte da variação dos dados (Tabela 16).

O Fator 1 tem cargas positivas altas para: atividade de água, umidade, acidez livre e índice de formol; e cargas negativas altas para: viscosidade, pH e açúcares redutores. Este, portanto, mede como a água está relacionada com as concentrações de açúcares e a bioestabilidade do mel, e pode ser chamado de “Teor de água”. Além disso, seus valores enfatizam a importância da água nas relações microbiológicas que alteram o pH, acidez livre e índice de formol, e nas relações de adsorção que influenciam a atividade de água e a viscosidade.

Tabela 15 – Matriz de correlação (coeficiente de correlação de Pearson) para os parâmetros físico-químicos analisados: cor (Cor), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), teor de cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

Variáveis	Cor	Vis	a_w	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Zn	Cd	Pb	Cu
Cor	1,000																
Vis	0,048	1,000															
a_w	-0,140	-0,572	1,000														
Um	-0,143	-0,526	0,942	1,000													
Cond	0,403	-0,176	0,041	-0,008	1,000												
pH	0,306	0,364	-0,568	-0,626	0,433	1,000											
Ac	0,182	-0,370	0,548	0,522	0,479	-0,362	1,000										
IF	0,336	-0,186	0,280	0,218	0,378	0,068	0,483	1,000									
AD	0,092	0,268	-0,317	-0,380	0,319	0,535	-0,052	0,302	1,000								
HMF	0,592	0,035	-0,170	-0,150	0,045	0,071	-0,018	0,006	-0,002	1,000							
Cin	0,519	-0,023	-0,165	-0,217	0,862	0,646	0,223	0,337	0,407	0,092	1,000						
AR	-0,073	0,327	-0,591	-0,550	-0,524	0,254	-0,688	-0,406	-0,055	0,089	-0,222	1,000					
Sac	0,197	0,143	-0,107	-0,158	0,103	0,203	-0,042	0,038	0,012	-0,049	0,264	0,023	1,000				
Zn	0,052	0,055	-0,039	-0,072	0,207	0,230	0,094	0,365	0,284	-0,037	0,130	-0,144	-0,052	1,000			
Cd	0,054	-0,123	0,242	0,238	-0,134	-0,184	0,128	0,234	-0,138	-0,030	-0,071	-0,032	0,025	0,394	1,000		
Pb	-0,024	-0,149	0,379	0,427	-0,200	-0,376	0,280	0,280	-0,200	-0,074	-0,205	-0,163	-0,057	0,015	0,598	1,000	
Cu	0,358	-0,004	0,154	0,142	0,479	0,227	0,241	0,488	0,115	-0,036	0,491	-0,271	0,238	0,265	-0,009	0,077	1,000

Nota: Os coeficientes de correlação ($p < 0,05$) encontram-se em negrito

O Fator 2 tem cargas positivas para: cor, condutividade elétrica, pH e Cobre; e um coeficiente bastante alto para teor de cinzas, podendo ser chamado de “Minerais”. Seus valores, portanto, salientam a importância do teor de cinzas na disponibilidade de cargas iônicas e também a participação dos minerais na coloração natural do mel.

O Fator 3 tem cargas positivas para cádmio e chumbo, podendo ser chamado de “Minerais acumulativos”.

Tabela 16 – Autovetores calculados para 112 amostras de méis, analisados com base em suas características físico-químicas

Característica analisada	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
Cor	0.08609	0.66765	0.45908	-0.47351	-0.05292
Viscosidade	-0.55290	0.07345	0.27491	0.21356	0.03357
Atividade de água	0.85301	-0.23281	-0.18516	0.01006	-0.06268
Umidade	0.85046	-0.29470	-0.13117	-0.01677	-0.06806
Condutividade	0.32653	0.78965	-0.34408	-0.05980	0.00094
pH	-0.55635	0.66351	0.00995	0.22738	0.05181
Acidez livre	0.83808	0.15122	-0.11841	-0.13300	0.04321
Índice de formol	0.55588	0.45717	0.20932	0.12121	0.32201
Atividade diastásica	-0.17806	0.45525	-0.12931	0.30825	0.65578
Hidroximetilfurfural	-0.10476	0.21500	0.39031	-0.80699	0.12341
Teor de cinzas	0.08492	0.91031	-0.11669	0.08324	-0.01457
Açúcares redutores	-0.76034	-0.15725	0.40050	0.06999	-0.07608
Sacarose aparente	0.02246	0.43405	0.15739	0.28666	-0.65734
Zinco	0.54145	0.08717	0.40352	0.12860	0.05203
Cádmio	0.36726	-0.18618	0.63632	0.28177	0.08157
Chumbo	0.53740	-0.28954	0.54496	0.24192	0.11872
Cobre	0.33487	0.69331	0.13815	0.16468	-0.26552

O Fator 4 tem carga negativa elevada para hidroximetilfurfural (HMF) e carga negativa moderada para cor, e pode ser chamado de “Melanoidinas em contraste com o escurecimento”, pois seus valores estão associados à síntese de HMF e à sua polimerização para melanoidinas, que promovem o escurecimento do mel.

O Fator 5 tem carga positiva elevada para atividade diastásica e carga negativa elevada para sacarose aparente, podendo ser chamado de “Adulteração”. Ou seja, seus valores enfatizam a redução da atividade diastásica em relação ao aumento da sacarose aparente.

2.9.2.3 Análise discriminante canônica

No conjunto amostral avaliado, compreendendo as variáveis físico-químicas e as abelhas produtoras dos diferentes tipos de méis, tentou-se verificar se estas espécies produzem méis realmente distintos.

Avaliando a dispersão amostral e a formação das elipses em alguns grupos (Figura 1), tem-se uma grande separação no primeiro eixo canônico, onde a espécie *Apis mellifera* ocupou somente o primeiro semi-eixo canônico positivo e o grupo dos meliponíneos, o primeiro semi-eixo canônico negativo. Assim, a variação amostral para o grupo dos meliponíneos restringiu-se ao segundo e ao terceiro quadrantes canônicos, onde há separação evidente entre a espécie *T. angustula* e o grupo das abelhas do gênero *Melipona*. Dentro do gênero *Melipona*, houve uma menor distribuição amostral, mostrando que os méis deste grupo compartilham algumas características físico-químicas, mas, mesmo tendo semelhanças, é possível separá-los por espécie produtora.

Figura 1 – Contraste das funções discriminantes das espécies de abelhas estudadas, geradas a partir de 17 parâmetros avaliados

De modo geral, as características físico-químicas de cada mel estão sempre correlacionadas. Neste estudo, foi possível verificar a qualidade da matriz mel e, através do comportamento de suas interações, direcionar a sua origem entomológica. Porém, para identificação correta desta origem, são necessários estudos matemáticos e estatísticos mais específicos, a fim de se criar um modelo que represente a variação amostral de cada grupo.

A matriz de confusão ou de contingência baseia-se também na matriz de correlação amostral e, para esta pesquisa, indica de forma clara se uma amostra de mel, dita de uma espécie, é verdadeiramente dela ou pertencente a alguma outra (Tabela 17). Neste contexto, é possível afirmar que 91,96% das amostras utilizadas nesta pesquisa foram identificadas e analisadas de forma correta, ou seja, apenas 9 amostras seriam melhor representadas em espécies diferentes.

Tabela 17 – Matriz de confusão para as espécies: *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF), *Melipona subnitida* (MSU)

	AM	MF	MM	MQ	MSC	MSU	TA	Total	% correto
AM	56	0	0	0	0	0	0	56	100,00
MF	0	8	0	0	1	0	0	9	88,89
MM	0	1	1	0	0	0	0	2	50,00
MQ	1	0	0	9	0	0	0	10	90,00
MSC	0	0	1	2	12	0	0	15	80,00
MSU	0	1	0	2	0	7	0	10	70,00
TA	0	0	0	0	0	0	10	10	100,00
Total	57	10	2	13	13	7	10	112	91,96

Seguindo o mesmo raciocínio, é factível afirmar que todas as 56 amostras de *A. mellifera* e 10 de *T. angustula* pertencem à própria espécie. Para as espécies *M. quadrifasciata* e *M. fasciculata*, 9 e 8 amostras foram agrupadas corretamente às suas respectivas espécies obtendo assim 90,00 e 88,89% de acerto, respectivamente. Por causa do reduzido número de amostras para a espécie *M. mandacaia* o resultado apresentou a menor porcentagem de acertos.

3 CONCLUSÕES

- Para todos os méis avaliados, os níveis encontrados de contaminantes inorgânicos (mercúrio, cádmio, chumbo e cobre) são toleráveis à saúde humana.
- As abelhas avaliadas produzem méis com características físico-químicas particulares a cada espécie, independentemente do local de origem. Isto torna possível a verificação da qualidade do produto e de sua origem entomológica.
- Os méis produzidos por *Apis mellifera* apresentaram variações nas características físico-químicas: atividade de água, viscosidade, acidez livre, índice de formol, açúcares redutores, condutividade elétrica, hidroximetilfurfural, atividade diastásica e o mineral zinco, em função dos diferentes locais onde foram produzidos.
- Dentre as espécies de Meliponíneos que tiveram comparação entre diferentes locais de coleta, apenas a *M. quadrifasciata* apresentou variação em suas características físico-químicas, sejam elas: atividade de água, acidez livre, índice de formol, açúcares redutores e condutividade elétrica.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C.M.L. Utilização de recursos florais por abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em uma área de Caatinga (Itatim, Bahia, Brasil). **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 20, n. 3, p. 457-467, 2003.
- ALEIXO, L.M. **Voltametria: Conceitos e Técnicas**. Campinas: Chemkeys/Universidade Estadual de Campinas, 2003. 21 p.
- ALMEIDA-MURADIAN, L.B.; BASTOS, D.H.M.; MATSUDA, A.H. Controle de qualidade de méis de *Melipona* do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 16., 2006. Aracajú. **Resumos...** Aracajú: Confederação Brasileira de Apicultura, 2006. 1 CD-ROM.
- ALVES, R.M.O.; SOUZA, B.A.; CARVALHO, C.A.L. Notas sobre a bionomia de *Melipona mandacaia* (Apidae: Meliponina). **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 3, p. 204-212, jul./set. 2007.
- ARAÚJO, D.R.; SILVA, R.H.D; SOUSA, J.S. Avaliação da qualidade físico-química do mel comercializado na cidade do Crato, CE. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 6, n. 1, p. 51-55, 2006.
- AROUCHA, E.M.M.; OLIVEIRA, A.J.F.; NUNES, G.H.S.; MARACAJÁ, P.B.; SANTOS, M.C.A. Qualidade do mel de abelha produzido pelos incubados da IAGRAM e comercializado no município de Mossoró/RN. **Caatinga**, Mossoró, 21, n. 1, p. 211-217, jan./mar. 2008.
- ARRUDA, C.M.F.; MARCHINI, L.C.; SODRÉ, G.S.; MORETI, A.C.C.C. Características físico-químicas de amostras de méis de *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera, Apidae) da região da Chapada do Araripe, município de Santana do Cariri, Estado do Ceará. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 61, n. 2, p. 141-150, 2004.
- AZEREDO, L.C.; AZEREDO, M.A.A.; SOUZA, S.R.; DUTRA, V.M.L. Protein contents and physicochemical properties in honey simples of *Apis mellifera* of different origins. **Food Chemistry**, London, v. 80, n. 2, p. 249-254, 2003.
- AZEREDO, M.A.A.; AZEREDO, L.C.; SOARES, J.C.A. Determinação de potássio em méis após precipitação com tetrafenilborato de sódio e separação em coluna de troca-iônica. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n.5, p. 651-654, 1998.
- BARTH, O.M.; MAIORINO, C.; BENATTI, A.P.T.; BASTOS, D.H.M. Determinação de parâmetros físico-químicos e da origem botânica de méis indicados monoflorais do sudeste do Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, p. 229-233, 2005.

BASTOS, D. H. M.; FRANCO, M.R.B.; SILVA, M.A.A.P.; JANZANTTI, N.S.; MARQUES, M.O.M. Composição de voláteis e perfil de aroma e sabor de méis de eucalipto e laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 122-129, 2002.

BENDINI, J.N.; SOUZA, D.C. Caracterização físico-química do mel de abelhas proveniente da florada do cajueiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 565-567, mar./abr. 2008.

BENTO, F.R.; GRASSI, M.T.; SALES, A.; MASCARO, L.H. Determination of Cu and As by stripping voltammetry in utility poles treated with chromated copper arsenate (cca). **International Journal of Electrochemical Science**, Belgrade, v. 3, n. 12, p. 1523-1533, Dec. 2008.

BOGDANOV, S. **Calidad de la miel de abejas y estándares de control: Revision realizada por la Comision internacional de la Miel**. 2000. Disponível em: <http://www.beekeeping.com/articulos/calidad_miel.htm>. Acesso em: 03 abril 2010.

BOGDANOV, S.; MARTIN, P.; LULLMANN, C. Harmonized methods of the european honey commission. **Apidologie**, Courtaboeuf, Extra Issue, p.1-59, 1997.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**, Paris, Séries B, v. 26, p. 211-252. 1964.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução normativa 11, de 20 de outubro de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade do mel. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, Seção I, p.16-17, 20 out. 2000.

CÂMARA, J.Q.; SOUSA, A.H.; VASCONCELOS, W.E.; FREITAS, R.S.; MAIS, P.H.S.; ALMEIDA, J.C.; MARACAJÁ, P.B. Estudos de meliponíneos, com ênfase a *Melipona subnitida* L. no município de Jandaíra, RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 4, n. 1, p. 1-19, 2004.

CASCAES, M.F. **A comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) e flores visitadas em um fragmento de mata atlântica, no município de Maracajá, Santa Catarina**. 2008. 58 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas – Manejo e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2008.

CATARINO, R.I.L.; GARCIA, M.B.Q.; LIMA, J.L.F.C. Flow injection voltammetric multi-site detection potentialities. **Portugaliae Electrochimica Acta**, Coimbra, v. 17, p. 305, 312, 1997.

COSTA, A.J.C. **Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores de urucum (*Bixa orellana* L.), em Vitória da Conquista – BA**. 2005. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.

DECAGON. **Aqualab - water active meter**: operator's manual. Washington, 2005. 112 p.

DENARDI, C.A.; NISHIMOTO, E.J.; BALIAN, S.C.; TELLES, E.O. Avaliação da atividade de água e da contaminação por bolores e levedura em mel comercializado na cidade de São Paulo – SP, Brasil. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 219-222, 2005.

FALLICO, B.; ZAPPALÀ, M.; ARENA, E.; VERZERA, A. Effects of conditioning on HMF content in unifloral honeys. **Food Chemistry**, London, v. 85, n. 2, p. 305-313, Apr. 2004.

FARIA-MUCCI, G.M.; MELO, M.A.; CAMPOS, L.A.O. A fauna de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) e plantas utilizadas como fonte de recursos florais, em um ecossistema de campos rupestres em Lavras Novas, Minas Gerais, Brasil. In: MELO, G.A.R. e SANTOS, I.A. (Eds.) **Apoidea Neotropica**: Homenagem aos 90 anos de Jesus Santiago Moure. Criciúma: UNESC, p. 241-256, 2003.

FERRAZ, R.E.; LIMA, P.M.; PEREIRA, D.S.; ALVES, N.D.; FEIJÓ, F.M.C. Microbiota fúngica de abelhas sem ferrão (*Melipona subnitida*) da região semi-árida do Nordeste brasileiro. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v.2, n.1, p. 44-47, set/dez. 2006.

FINOLA, M.S.; LASAGNO, M.C.; MARIOLI, J.M. Microbiological and chemical characterization of honey from central Argentina. **Food Chemistry**, London, v. 100, n. 4, p. 1649-1653, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION-FAO/WHO. **Summary and conclusions of the sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)**. 2005. Disponível em: <http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/summaries/summary_report_64_final.pdf>. Acesso em: 16 aug. 2010.

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, jun. 2006.

GONÇALVES, A.L.; ALVES FILHO, A.; MENEZES, H. Atividade antimicrobiana do mel da abelha nativa sem ferrão *Nannotrigona testaceicornis* (Hymenoptera: Apidae, Meliponini). **Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 72, n. 4, p. 455-459, out./dez. 2005.

GONÇALVES, S.J.M.; RÊGO, M.; ARAÚJO, A. Abelhas sociais, (Hymenoptera: Apidae) e seus recursos florais em uma região de mata secundária, Alcântara, MA, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 26, n. 1/2, p. 55-68, 1996.

GOULSON, D. Effects of introduced bees on native ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 34, n. 1, p.1-26, 2003.

HARTLEY, H.O. The use of range in analysis of variance. **Biometrika**, London, v. 37, p. 271–280, 1950.

HUIDOBRO, J.F.; SANTANA, F.J.; SANCHEZ, M.P.; SANCHO, M.T.; MUNIATEGUI, S.; SIMAL-LOZANO, J. Diastase, invertase and β -glucosidase activities in fresh honey from north-west Spain. **Journal of Apicultural Research**, London, v. 34, n. 1, p. 39-44, 1995.

JATI, S.R. Qualidade do mel de abelha no estado de Roraima, Brasil. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, Boa Vista, v. 2, n.1, p. 5-15, 2007.

LANE, J. H.; EYNON, L. **Determination of reducing sugars by fehling's solution with methylene blue**. London: Normam Rodge, 1934. 8 p.

LOCATELLI, E.; MACHADO, I.C.; MEDEIROS, P. Riqueza de abelhas e a flora apícola em um fragmento da mata serrana (brejo de altitude) em Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: PÔRTO, K.C.; CABRAL, J.J.P. ;TABARELLI, M. (Org.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba história natural, ecologia e conservação**. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente, 2004. cap. 12, p. 153-177.

MAHALANOBIS, P.C. **Historic note on the D2 statistic**. Sankhya, 1948. 237 p.

MANLY, B.J.F. Métodos **estatísticos multicaviados: Uma introdução**. 3 Ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 229 p.

MARCHINI, L.C. **Caracterização de amostras de méis de *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) do Estado de São Paulo, baseada em aspectos físico-químicos e biológicos**. 2001.83p Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MARCHINI, L.C.; MORETI, A.C.C.C.; OTSUK, I.P. Análise de agrupamento, com base na composição físico-química, de amostras 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, 2005.

MARCHINI, L.C.; SOUSA, B.A. Composição físico-química, qualidade e diversidade dos méis brasileiros de abelhas africanizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 16., 2006. CONGRESSO BRASILEIRO DE MELIPONICULTURA, 2., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracajú, 2006. 1 CD – ROM.

MENDONÇA, K.; MARCHINI, L.C.; SOUZA, B.A. ANACLETO, D.A.; MORETI, A.C.C.C. Caracterização físico-química de amostras de méis produzidas por *Apis mellifera* L. em fragmento de cerrado no município de Itirapina, São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1748-1753, set. 2008.

MENEZES, C.; SILVA, C.I.; SINGER, R.B.; KERR, W.E. Competição entre abelhas durante o forrageamento em *Schefflera arboricola* (Hayata) Merr. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, suplemento 1, p. 63-69, nov. 2007.

MESQUITA, L.X.; SAKAMOTO, S.M.; MARACAJÁ, P.B.; PEREIRA, D.S.; MEDEIROS, P.V.Q. Análises físico-químicas de amostras de mel de jandaira puro (*Melipona subnitida*) e com misturas. **Revista Verde**, Mossoró, v. 2, n. 2, p. 65-68, Jul/Dez. 2007.

MINUSSI, L.C.; SANTOS, I.A. Abelhas nativas versus *Apis mellifera* Linnaeus, espécie exótica (Hymenoptera: Apidae). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, suplemento 1, p. 58-62, nov. 2007.

MODRO, A.F.H.; SOUZA, S.; ABURAYA, F.H.; MAIA, E. Conhecimento dos moradores do médio Araguaia, Estado do Mato Grosso, sobre a utilidade de produtos de abelhas (Hymenoptera, Apidae). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 421-424, 2009.

MOLINERO, E.H.S.; MARQUES, L.D.; JAFELICE, R.S.M. O estudo matemático do comportamento das abelhas. **FAMAT em Revista**, Uberlândia, n. 9, p. 447-458, out. 2007.

MORAES, R.M. **Análise de mel**. Pindamonhangaba: IZ/SAA, 1994. 1v.

MORAES, R.M.; TEIXEIRA, E.W. **Análise do mel (Manual técnico)**. Pindamonhangaba: [s.n.], 1998. 41 p.

MORAIS, S.M. **Mel de abelha como alimento funcional**. 2008. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso5.htm>>. Acesso em: 11 abr. 2010.

MORGADO, L.N.; CARVALHO, C.F.; SOUZA, B.; SANTANA, M.P. Fauna de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) nas flores de girassol *Helianthus annuus* L., em Lavras – MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1167-1177, nov./dez. 2002.

NEVES, E.L.; CASTRO, M.S. Mandaçaia – uma abelha-chave para a conservação da caatinga. **Candobá**, Salvador, v. 2, n.1, p 1-3, jun. 2006 (Boletim Informativo).

NOBRE, A.L.R.; MAZO, L.H. Análise potenciométrica de redissolução com ultramicroeletrodos – fundamentos e aplicações na determinação de metais traços. **Química Nova**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 412-419, 1997.

NOZAL, M.J.; BERNAL, J.L.; TORIBIO, L.; JIMENÉZ, J.J.; MARTÍN, M.T. High-performance liquid chromatographic determination of methyl anthranilate, hydroxymethylfurfural and related compounds in honey. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 917, n. 1-2, p. 95-103, May. 2001.

OLIVEIRA, R.C.; NUNES, F.M.F.; CAMPOS, A.P.S.; VASCONCELOS, S.M.; ROUBICK, D.; GOULART, L.R.; KERR, W.E. Genetic divergence in *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811 (Hymenoptera, Meliponinae, Trigonini) based on rapd markers. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 27, n. 2, p. 181-186, 2004.

PACHECO, I.A.; KAGEVAMA, P.Y.; WIENDL, F.M.; BERTI FILHO, E. Estudo da dispersão de pólen de *Eucalyptus saligna* Smith por abelhas *Apis mellifera* L. utilizando-se o radiofósforo ^{32}P . **IPEF**, Piracicaba, n. 34, p. 47-52, dez. 1986.

PAINI, D.R. Impact of the introduced honey bee (*Apis mellifera*) (Hymenoptera: Apidae) on native bees: a review. **Austral Ecology**, Sydney, v. 29, n. 4, p. 399-407, 2004.

PAMPLONA, B.C. **Exame dos elementos químicos inorgânicos encontrados em méis brasileiros de *Apis mellifera* e suas relações físico-biológicas**. 1989. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 1989.

PASSAMANI, L. **Estudo das características físicas, químicas e microbiológicas de compostos de mel produzidos no estado do Rio de Janeiro**. 2005. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

PAULINO, R.S.; MARCUCCI, M.C. Análises físico químicas de méis do Ceará. **Revista de Pesquisa e Inovação Farmacêutica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 63-78, ago./dez. 2009.

PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris* L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 179-186, jul/dez. 2003a.

PEREIRA, F.M.; LOPES, M.T.R.; CAMARGO, R.C.R.; VILELA, S.L.O. **Produção de mel**. 2003b. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mel/SPMel>>. Acesso em: 22 abr. 2010.

PREGNOLATO, W. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz.. In: PREGNOLATO, W.; PREGNOLATO, N.P. (Coord). **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v.1, 533 p.

PRONÍ, E.A. Biodiversidade de abelhas indígenas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponinae) na bacia do rio Tibagi, Estado do Paraná, Brasil. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia**, Umuarama, v. 3, n. 2, p. 145-150, ago./dez. 2000.

PUC – PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA. **Voltametria**. 2010. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0212140_04_cap_02.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2010.

QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; SILVA, C.L.; MATA, M.E.R.M.C. Comportamento reológico de méis de florada silvestre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 190-194, mar./abr. 2007.

REIS, I.T. **Flora de manutenção para *Apis mellifera* no município de Paramoti - CE.** 2009. 80 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

RENDÓN, S.R. Estudio de la composición físico-química de las mieles extremenas y extranjeras. In: CONGRESSO IBERO LATINOAMERICANO DE APICULTURA, 5, 1996.Uruguaí. **Anais...** Mercedes: Intendência Municipal de Soriano, 1996. p.174-183.

RODRIGUES, E.M.S.; FRAGA, I.C.S. **Implementação de métodos para a determinação de metais por voltametria e sua aplicação em efluentes líquidos.** 2010. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_IX_jic_2001/Erica.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2010.

SALGADO, P.E.T. Metais em alimentos. In: OGA, S. (Ed.) **Fundamentos de toxicologia.** São Paulo, 2008. cap. 5.1, p. 577-608.

SALOMÉ, J.A. **Consumo de mel no Brasil: Análise de situação.** SEBRAE, 2008. 9 p.

SANDSTEAD, H.H.; DINTZIS, F.R.; BOGYO, T.; MILNE, D.A.; JACOB, R.A.; KLEVAY, L.M. Dietary factors that can impair calcium and zinc nutriture of the elderly. In: PRINCELEY, J.; SANDSTEAD, H.H. (Ed.) **Nutrition and aging.** New York: Alan R Liss, p. 241-262, 1990.

SAS INSTITUTE. **SAS/Stat 9.1.3 Service Pack 2.** Cary, 2003. 1 DVD-ROM.

SCHADE, J.W.; MARSH, G.; L.ECKERT, J.E. Diastase activity and hydroxymethylfurfural in honey and their influence in detecting heat alteration. **Food Research**, Toronto, v.23, p.446-463, 1958.

SEEMANN, P.; NEIRA, M. **Tecnología de la producción apícola.** Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias Empaste, 1988. 202 p.

SILVA, C.L.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Caracterização físico-química de méis produzidos no Estado do Piauí para diferentes floradas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 260-265, maio/dez. 2004.

SILVA, J.G. **Estudo voltamétrico da interação dos íons Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} e Pb^{2+} com a enzima catalase.** 2007. 134 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007a.

SILVA, K.F.N.L.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; SILVA, C.T.S.; MELO, K.S. Características físico-químicas de mel produzido em Limoeiro do Norte durante o armazenamento. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.4, p. 246-254, out./dez. 2009.

SILVA, L.O.C. **Voltametria adsortiva com redissolução catódica e pulso diferencial em misturas de íons metálicos: uma análise exploratória**. 2007. 130 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007b.

SILVA, R.A.; MAIA, G.A.; SOUSA, P.H.M.; COSTA, J.M.C. Composição e propriedades terapêuticas do mel de abelhas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n.1, p. 113-120, jan./mar. 2006.

SILVA, R.B. **Variabilidade genética de *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae, Meliponina – Brasil) no Estado de Minas Gerais**. 2007. 41 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007c.

SODRÉ, G.S.; MARCHINI, L.C.; MORETI, A.C.C.C.; OTSUK, I.P.; CARVALHO, C.A.L. Caracterização físico-química de amostras de méis de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) do Estado do Ceará. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1139-1144, jul./ago. 2007.

SOUZA, B. et al. Composition of stingless bee honey: setting quality standards. **Interciencia**, Caracas, v. 31, n. 12, p. 867-882, 2006a.

SOUZA, B de A.; MARCHINI, L.C.; ALVES, R.M. de O.; CARVALHO, A.L. de. Caracterização físico-química de amostras de méis de *Tetragonisca angustula*, provenientes das regiões do litoral norte e metropolitana do Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 16., 2006 Aracajú. **Anais...** Aracajú: Confederação Brasileira de Apicultura, 2006b. 1 CD-ROM.

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

SPANNO, N.; CASULA, L.; PANZANELLI, A.; PILO, M.I.; PIU, P.C.; SCANU, R.; TAPPARO, A.; SANNA, G. An RP-HPLC determination of 5-hydroxymethylfurfural in honey. The case of strawberry tree honey. **Talanta**, Belgium, v. 68, n. 4, p. 1390-1395, feb. 2006.

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

TOSI, E. Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content. **Food Chemistry**, London, v. 77, p. 71-74, 2002.

TRINDADE, J.L.F.; MEIRA, H.L.; BRASILEIRO, D.T. **Mel como substituto da glucose de milho em sorvetes**. 2007. Disponível em:

<<http://www.aeapg.org.br/3eetcg/Anais/ARTIGOS/PDFS/EngenhariadeAlimentos20-2002.pdf>> Acesso em: 11 abr. 2010.

VENTURINI, K.S.; SARCINELLI, M.F.; SILVA, L.C. **Características do mel**. Vitória: UFES, 2007. p 1-8 (Boletim Técnico - PIE-UFES: 01107).

VIANA, B.F.; SILVA, F.O.; KLEINERT, A.M.P. A flora apícola de uma área restrita de dunas litorâneas, Abaeté, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, n.1, p. 13-25, jan./mar. 2006.

VIEIRA, G.H.C.; MARCHINI, L.C.; SOUZA, B.A.; MORETI, A.C.C.C. Fontes florais usadas por abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em área de Cerrado no município de Cassilândia, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1454-1460, set./out. 2008.

VENTURIERI, G.C.; RAIOL, V.F.O.; PEREIRA, C.A.B. Avaliação da introdução da criação racional de *Melipona fasciculata* (Apidae: Meliponina) entre os agricultores familiares de Bragança – PA, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2003.

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

WELKE, J.E.; REGINATTO, S.; FERREIRA, D.; VICENZI, R.; SOARES, J.M. Caracterização físico-química de méis de *Apis mellifera* L. da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1737-1741, set. 2008.

WHITE JÚNIOR, J.W. Methods for determining carbohydrates, hydroxymetilhyfurfural and proline in honey; Collaborative study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, Washington, v. 62, n. 3, p. 515-526, 1979.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Mercury in drinking-water**. Copenhagen. 2005. Disponível em:
<http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/chemicals/mercuryfinal.pdf>. Acesso em: 12 aug. 2007.

WIESE, H. **Apicultura novos tempos**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 424 p.

XLSTAT. **Xlstat-Pro 2010 add-in for Excel**. New York, 2010. Disponível em:
<<http://www.xlstat.com>>. Acesso em: 25 jul. 2010.

ANEXOS

Anexo A – Valores médios dos parâmetros analisados, com base em três repetições: cor (identificação e valor de absorbância), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), mercúrio (Hg), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

(continua)

Amostra	Parâmetros																		
	Cor	Cor	Vis	a_w	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Hg	Zn	Cd	Pb	Cu
			(mPa s)		(%)	($\mu\text{S cm}^{-1}$)		(meq kg^{-1})	(meq kg^{-1})	Göthe	(mg kg^{-1})	(%)	(%)	(%)	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg^{-1})	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})
1	Âmbar claro	0,373	9860	0,634	19,4	529	4,04	24,18	3,31	11,77	59,33	0,266	72,54	0,35	...	1,025	0,698	0,005	0,011
2	Âmbar	0,864	6120	0,617	18,5	412	3,72	35,40	6,30	8,02	158,38	0,179	71,35	0,99	...	3,047	5,172	0,251	0,284
3	Âmbar	0,881	5117	0,613	18,2	907	4,19	44,54	10,18	14,03	76,10	0,506	71,49	1,72	...	4,090	5,353	0,250	0,540
4	Âmbar escuro	1,311	6300	0,638	19,2	1752	4,41	61,67	12,54	15,97	71,66	0,888	67,70	2,15	...	3,000	5,073	0,281	1,422
5	Âmbar escuro	1,560	5540	0,627	19,7	1646	4,52	63,96	13,62	8,79	59,68	0,983	58,97	10,70	...	3,012	4,934	0,094	1,924
6	Âmbar	0,637	6087	0,602	18,1	390	3,78	27,19	4,49	6,64	128,94	0,199	75,17	2,97	...	8,130	6,379	0,213	0,204
7	Âmbar	0,512	6553	0,632	19,2	612	4,06	31,89	6,76	13,48	71,51	0,366	76,00	0,34	...	1,500	35,213	0,183	0,139
8	Âmbar	0,567	4378	0,612	18,1	842	4,11	43,16	8,86	15,26	69,36	0,497	71,91	0,14	...	3,354	3,280	0,204	0,659
9	Âmbar	0,537	8267	0,594	17,4	224	3,78	15,69	3,13	7,56	20,06	0,099	75,74	1,86	...	0,398	4,900	0,134	0,121
10	Âmbar claro	0,268	4250	0,614	18,2	213	3,78	15,61	3,47	8,09	18,56	0,090	79,43	2,13	...	0,427	...	0,107	0,004
11	Âmbar claro	0,237	7067	0,599	18,1	217	3,61	15,00	3,33	7,30	19,01	0,079	78,43	2,62	...	0,524	2,582	...	0,074
12	Âmbar	0,503	16570	0,575	17,7	228	3,68	16,41	3,07	5,92	39,02	0,099	74,01	1,54	...	0,281	2,502	0,067	0,389
13	Âmbar	0,474	17827	0,567	17,2	424	3,83	16,70	2,93	2,95	73,40	0,229	76,00	1,79	...	0,432	1,078	0,363	0,125
14	Âmbar claro	0,354	9573	0,586	18,1	267	3,72	20,90	5,26	6,73	13,82	0,140	77,30	1,51	...	0,347	1,954	0,236	0,090
15	Âmbar	0,476	19447	0,559	16,6	387	3,94	17,68	3,65	9,32	17,32	0,270	77,15	-	...	5,481	3,568	...	0,416
16	Âmbar claro	0,353	8613	0,597	18,5	334	3,78	19,61	3,05	8,96	17,32	0,159	77,75	3,29	...	0,291	11,365	0,391	0,249
17	Âmbar claro	0,391	8173	0,615	20,4	178	3,52	22,13	3,65	4,68	12,62	0,060	76,15	-	...	0,274	1,472	0,245	...
18	Âmbar	0,647	16880	0,578	18,0	678	4,00	30,76	5,03	3,32	86,98	0,298	74,45	0,56	...	4,259	4,541	0,867	0,923
19	Âmbar claro	0,275	15773	0,598	18,1	342	3,91	19,06	3,13	5,48	20,56	0,150	75,13	0,09	...	8,458	6,342	0,428	0,158
20	Âmbar	0,590	26583	0,565	17,1	347	3,89	26,30	4,48	7,18	37,72	0,162	75,65	0,34	...	0,631	1,126	0,486	0,325
21	Âmbar	0,833	19350	0,607	17,4	521	3,88	27,89	4,09	4,81	83,58	0,329	72,73	0,55	...	0,507	6,606	0,313	0,162
22	Âmbar	0,526	23833	0,569	18,6	385	4,02	26,62	6,53	6,87	66,22	0,316	74,00	1,46	...	0,754	3,758	0,225	0,130
23	Âmbar claro	0,306	22083	0,578	16,8	241	3,81	16,39	3,54	4,20	10,73	0,149	75,12	2,02	...	0,944	3,909	0,604	0,161
24	Âmbar	0,907	8700	0,622	18,6	743	4,09	74,84	20,58	10,58	18,91	0,560	68,78	0,68	...	1,925	2,972	0,559	0,620

Anexo A – Valores médios dos parâmetros analisados, com base em três repetições: cor (identificação e valor de absorbância), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), mercúrio (Hg), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

(continuação)

Amostra	Parâmetros																		
	Cor	Cor	Vis	a_w	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Hg	Zn	Cd	Pb	Cu
			(mPa s)		(%)	($\mu\text{S cm}^{-1}$)		(meq kg ⁻¹)	(meq kg ⁻¹)	Göthe	(mg kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg ⁻¹)	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
25	Branco	0,096	18683	0,581	17,3	146	3,43	14,51	1,69	2,06	12,43	0,056	76,34	2,39	...	0,636	2,854	0,566	...
26	Âmbar claro	0,293	19817	0,582	16,3	392	4,43	25,70	3,74	5,43	5,94	0,200	74,56	4,90	...	1,401	3,913	0,658	0,008
27	Âmbar claro	0,347	11933	0,557	17,0	403	4,38	22,94	2,79	5,14	2,50	0,166	75,39	0,02	...	1,327	7,559	0,712	0,006
28	Âmbar claro	0,337	4713	0,605	18,7	384	3,94	28,87	4,45	7,75	1,55	0,259	74,99	0,66	...	1,349	0,175	0,581	0,038
29	Âmbar	0,448	4180	0,611	18,8	518	3,72	37,38	6,76	10,78	8,78	0,350	74,79	0,29	...	2,104	0,509	0,314	0,149
30	Âmbar claro	0,341	4620	0,610	18,5	782	4,26	28,44	4,41	16,27	0,55	0,508	70,83	2,33	...	0,955	4,220	0,394	0,479
31	Âmbar	0,479	7253	0,590	17,3	355	4,23	13,48	3,68	8,15	8,03	0,090	71,01	-	...	0,722	1,971	0,637	0,104
32	Âmbar claro	0,404	20800	0,582	17,3	329	4,08	12,36	3,35	9,20	15,07	0,060	77,40	-	...	0,350	2,421	0,228	0,124
33	Extra âmbar claro	0,150	43900	0,563	16,2	155	3,58	9,17	2,16	6,57	5,04	0,050	67,04	3,93	...	1,263	...	0,151	...
34	Âmbar	0,716	45383	0,562	17,4	291	4,00	22,28	5,44	6,91	69,46	0,089	69,34	0,65	...	0,987	4,513	0,455	0,787
35	Âmbar claro	0,311	29867	0,594	18,6	352	3,72	25,13	11,67	29,94	10,53	0,003	68,68	-	...	3,163	4,784	0,487	0,127
36	Âmbar	0,451	98633	0,564	16,7	178	3,87	15,55	1,17	3,24	52,10	0,100	71,61	1,80	...	0,860	2,401	0,655	0,423
37	Âmbar claro	0,372	26417	0,591	18,7	565	4,02	21,48	7,56	31,38	5,44	0,321	66,85	1,71	...	1,082	0,390	0,443	0,284
38	Âmbar claro	0,313	6633	0,604	18,8	376	3,82	17,57	5,63	12,47	16,62	0,169	71,38	0,38	...	1,188	2,485	0,457	0,415
39	Âmbar claro	0,298	6883	0,596	18,7	363	3,85	17,71	5,63	13,38	15,12	0,209	70,64	0,06	...	1,408	1,933	0,691	0,216
40	Âmbar claro	0,430	9267	0,580	18,1	563	3,80	28,68	10,05	16,14	29,24	0,229	69,90	1,96	...	0,806	1,439	0,735	0,357
41	Âmbar claro	0,356	8860	0,583	17,5	335	3,48	27,47	5,11	8,67	7,58	0,150	64,78	2,29	...	7,668	2,867	0,420	0,313
42	Âmbar escuro	2,486	12833	0,580	18,6	1614	4,54	56,56	8,93	10,19	100,20	0,777	63,55	2,49	...	8,885	5,014	0,537	1,273
43	Âmbar claro	0,416	7850	0,586	18,1	332	3,68	24,73	7,09	20,31	20,56	0,179	66,98	0,79	...	0,890	0,942	0,841	0,234
44	Âmbar claro	0,421	24733	0,556	17,1	962	4,17	26,50	3,60	13,74	5,04	0,484	71,57	-	...	3,034	3,155	0,972	0,269
45	Âmbar claro	0,207	18850	0,569	16,6	231	3,73	11,04	1,60	7,65	14,67	0,089	72,78	-	...	0,551	3,757	0,417	0,100
46	Âmbar claro	0,408	21517	0,562	16,5	575	4,10	20,60	2,35	9,50	22,46	0,243	66,54	2,86	...	1,350	1,030	0,355	0,039
47	Branco	0,110	34867	0,551	14,6	289	3,91	10,51	2,70	9,20	14,72	0,090	68,81	1,98	...	0,612	...	0,048	...
48	Âmbar escuro	1,303	6160	0,602	18,7	525	3,66	39,62	6,71	5,15	695,01	0,182	68,38	0,56	...	2,665	3,871	0,360	0,210

Anexo A – Valores médios dos parâmetros analisados, com base em três repetições: cor (identificação e valor de absorbância), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), mercúrio (Hg), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

(continuação)

Amostra	Parâmetros																		
	Cor	Cor	Vis	a_w	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Hg	Zn	Cd	Pb	Cu
			(mPa s)		(%)	($\mu\text{S cm}^{-1}$)		(meq kg^{-1})	(meq kg^{-1})	Göthe	(mg kg^{-1})	(%)	(%)	(%)	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg^{-1})	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})
49	Âmbar escuro	2,400	5323	0,601	18,7	785	3,83	40,33	7,24	0,42	1203,99	0,339	69,63	-	...	1,141	5,226	0,258	0,282
50	Âmbar escuro	1,655	11820	0,570	18,0	532	3,77	36,75	6,87	9,23	1234,33	0,250	69,58	0,67	...	2,260	2,353	0,331	0,154
51	Âmbar	0,495	7160	0,602	17,6	442	3,65	29,97	7,81	17,22	115,57	0,199	67,60	0,11	...	1,893	5,123	0,254	0,065
52	Âmbar escuro	1,906	24783	0,562	15,9	667	4,51	19,97	3,62	8,21	157,68	0,512	66,53	2,10	...	0,813	...	0,098	0,136
53	Âmbar escuro	1,368	16583	0,542	16,2	693	3,81	34,73	7,74	9,20	13,07	0,335	73,33	1,39	...	1,677	7,197	0,380	0,181
54	Âmbar escuro	1,401	15567	0,559	16,7	663	3,82	33,44	10,09	0,08	11,88	0,355	72,03	2,32	...	1,331	4,572	0,280	0,179
55	Âmbar claro	0,379	6833	0,571	18,6	453	3,82	22,73	7,42	12,91	14,12	0,230	70,40	0,06	...	1,682	4,644	0,232	0,129
56	Âmbar claro	0,396	7150	0,598	18,2	452	3,82	21,65	7,88	15,89	20,81	0,213	71,51	0,63	...	2,611	4,778	0,228	0,265
57	Âmbar claro	0,285	2103	0,638	21,6	764	3,88	16,99	2,15	-	3,94	0,288	68,79	1,00	...	1,242	3,912	0,209	0,261
58	Âmbar claro	0,285	2708	0,631	20,6	623	3,61	20,05	2,43	-	12,13	0,209	66,00	-	...	1,190	3,948	0,242	0,230
59	Extra âmbar claro	0,187	1359	0,648	22,0	731	3,67	20,48	1,81	-	0,25	0,218	68,31	-	...	0,845	0,896	0,164	0,239
60	Extra âmbar claro	0,174	3080	0,613	20,0	519	3,88	13,18	1,31	-	3,09	0,213	69,75	0,10	...	0,786	4,931	0,247	0,164
61	Âmbar claro	0,238	3305	0,616	19,8	625	3,78	19,98	2,76	-	11,63	0,219	66,74	0,85	...	0,837	1,943	0,013	0,001
62	Âmbar claro	0,249	2995	0,624	20,2	678	3,87	15,12	1,72	-	1,65	0,189	66,74	0,10	...	1,009	1,614	0,097	0,081
63	Extra âmbar claro	0,153	2173	0,630	20,8	663	3,80	15,98	1,66	-	1,15	0,239	66,80	0,90	...	0,554	4,135	0,132	0,074
64	Extra âmbar claro	0,164	3568	0,629	20,0	666	3,73	18,80	2,48	-	5,09	0,119	65,29	0,67	...	0,899	2,197	0,256	0,205
65	Âmbar claro	0,273	5395	0,618	19,2	669	3,81	21,19	3,68	-	8,88	0,259	66,02	-	...	1,143	3,805	0,120	0,167
66	Âmbar claro	0,191	1503	0,654	22,1	632	3,86	22,93	2,45	-	0,80	0,200	67,65	0,72	...	0,613	3,090	0,369	0,364
67	Âmbar claro	0,396	470	0,711	27,5	428	3,53	45,03	2,62	-	19,46	0,139	66,97	1,35	...	0,909	0,805	0,209	0,186
68	Âmbar	0,456	1225	0,676	22,9	912	3,64	66,96	6,11	-	7,78	0,359	61,57	1,91	...	0,826	0,583	0,065	0,276
69	Âmbar claro	0,224	3250	0,624	19,6	709	3,65	20,32	3,19	-	4,59	0,169	69,82	0,57	...	0,362	2,532	0,152	0,079
70	Âmbar claro	0,396	2243	0,634	20,6	416	3,53	31,78	3,09	-	4,69	0,090	67,28	3,17	...	0,900	1,116	0,185	0,375
71	Extra âmbar claro	0,131	343	0,732	28,7	423	3,19	54,98	2,30	-	3,59	0,070	60,56	0,54	...	1,413	3,763	0,103	0,117
72	Extra âmbar claro	0,165	525	0,603	17,0	568	3,23	89,64	4,30	-	8,23	0,100	62,51	0,68	...	1,568	1,120	0,128	0,027

Anexo A – Valores médios dos parâmetros analisados, com base em três repetições: cor (identificação e valor de absorbância), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), mercúrio (Hg), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

(continuação)

Amostra	Parâmetros																		
	Cor	Cor	Vis	a_w	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Hg	Zn	Cd	Pb	Cu
			(mPa s)		(%)	($\mu\text{S cm}^{-1}$)		(meq kg^{-1})	(meq kg^{-1})	Göthe	(mg kg^{-1})	(%)	(%)	(%)	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg^{-1})	($\mu\text{g kg}^{-1}$)	(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})
73	Âmbar claro	0,198	219	0,744	30,2	683	3,75	55,04	3,69	-	1,55	0,189	67,32	1,69	...	1,175	2,588	0,077	...
74	Âmbar	0,612	576	0,509	12,6	627	3,47	70,27	4,18	-	16,32	0,080	64,87	0,30	...	2,392	6,457	0,141	0,198
75	Âmbar	0,675	828	0,691	20,4	700	3,50	74,53	4,96	-	32,48	0,140	62,74	-	...	2,408	1,819	0,390	0,233
76	Âmbar	0,611	366	0,714	28,0	556	3,21	73,02	9,99	-	12,77	0,126	65,35	-	...	1,089	2,262	0,142	0,435
77	Âmbar	0,569	292	0,718	21,8	566	3,37	77,68	8,66	-	7,58	0,090	64,03	3,41	...	2,938	3,442	0,086	0,040
78	Âmbar	0,631	239	0,737	30,0	454	3,23	59,07	5,45	-	2,69	0,070	64,96	0,00	...	2,064	...	0,067	0,485
79	Âmbar	0,570	342	0,731	28,9	533	3,22	70,43	8,68	-	6,79	0,129	63,25	0,11	...	2,836	...	0,053	0,389
80	Âmbar	0,653	328	0,726	28,6	571	3,23	68,68	6,37	-	8,23	0,100	59,16	2,00	...	2,955	1,730	0,118	0,649
81	Âmbar claro	0,286	137	0,580	16,8	229	3,57	17,10	1,31	-	13,57	0,060	72,03	2,38	...	2,662	9,816	0,079	0,143
82	Extra âmbar claro	0,170	588	0,692	25,0	284	3,65	19,19	4,75	-	0,50	0,100	66,59	-	...	2,050	...	0,093	0,200
83	Âmbar claro	0,364	942	0,670	23,9	299	3,41	38,10	2,91	-	16,12	0,089	71,02	-	...	3,579	5,385	0,193	0,289
84	Âmbar	0,573	1639	0,711	23,8	1217	3,61	89,93	8,79	4,71	0,05	0,438	52,24	-	...	3,550	2,843	0,024	0,301
85	Âmbar claro	0,393	1780	0,628	24,1	1271	3,67	83,46	7,51	7,73	6,44	0,479	55,99	0,02	...	2,671	1,930	0,082	0,284
86	Âmbar	0,476	1620	0,596	23,6	1532	3,71	69,90	7,31	6,65	15,32	0,477	53,21	0,14	...	2,495	0,322	0,462	0,167
87	Âmbar	0,482	4550	0,593	18,0	1237	3,24	93,95	8,16	6,19	15,02	0,469	60,97	-	...	3,038	4,727	0,218	0,410
88	Âmbar	0,647	31167	0,576	15,5	1357	4,72	60,50	18,92	30,06	2,64	0,495	60,97	-	...	61,976	...	0,384	0,974
89	Âmbar	0,648	13817	0,594	17,0	1068	4,44	46,22	18,61	23,38	1,60	0,388	62,19	0,70	...	195,162	...	0,293	0,970
90	Âmbar	0,616	1061	0,741	25,1	1260	3,85	93,93	10,74	22,62	0,60	0,486	43,79	1,98	...	1,721	2,517	0,305	0,091
91	Âmbar	0,539	1338	0,725	24,4	830	3,74	57,61	8,52	21,09	0,05	0,299	48,42	0,85	...	3,987	4,352	0,458	0,598
92	Âmbar	0,492	1116	0,706	24,2	1565	3,92	81,16	18,19	21,65	0,10	0,506	54,71	0,64	...	4,226	2,785	0,172	0,805
93	Âmbar claro	0,413	1025	0,697	23,9	680	3,96	31,79	7,31	22,25	0,50	0,248	57,70	0,03	...	2,379	2,029	0,429	0,133
94	Âmbar claro	0,289	1318	0,660	22,3	443	3,80	27,35	9,21	0,16	6,89	0,179	65,72	1,27	...	2,457	1,437	0,119	0,187
95	Âmbar	0,472	2057	0,644	21,1	786	4,14	55,49	21,07	0,81	15,02	0,279	67,45	0,29	...	3,266	0,827	0,087	0,718
96	Âmbar	0,472	398	0,715	27,9	419	3,52	33,08	7,63	0,10	0,35	0,179	67,31	0,24	...	5,700	...	0,717	...

Anexo A – Valores médios dos parâmetros analisados, com base em três repetições: cor (identificação e valor de absorbância), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), mercúrio (Hg), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

(conclusão)

Amostra	Parâmetros																		
	Cor	Cor	Vis	a _w	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Hg	Zn	Cd	Pb	Cu
			(mPa s)		(%)	(μS cm ⁻¹)		(meq kg ⁻¹)	(meq kg ⁻¹)	Göthe	(mg kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(μg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(μg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
97	Âmbar	0,598	564	0,701	25,1	468	3,67	35,20	8,69	0,38	2,50	0,238	64,61	0,00	...	4,916	...	1,369	...
98	Âmbar	0,473	942	0,678	23,4	502	3,44	31,85	5,07	0,95	6,89	0,210	67,44	2,24	...	3,906	0,154	0,585	0,302
99	Âmbar	0,547	317	0,720	27,8	436	3,42	28,22	3,90	0,29	2,20	0,209	65,32	0,22	...	4,673	...	5,720	0,621
100	Âmbar	0,523	1195	0,665	22,9	652	3,82	24,97	9,15	1,28	13,27	0,269	65,06	0,17	...	8,199	...	0,870	1,987
101	Âmbar	0,523	1221	0,665	22,7	565	3,66	26,96	6,72	1,19	11,83	0,279	64,29	-	...	6,900	...	0,937	1,148
102	Âmbar claro	0,435	849	0,690	24,0	450	3,68	32,90	10,10	0,28	3,59	0,289	65,42	1,93	...	6,379	57,977	6,338	0,121
103	Âmbar	0,594	369	0,727	28,6	283	3,07	66,10	13,28	-	6,49	0,050	59,74	2,93	...	4,898	15,363	1,609	0,177
104	Âmbar claro	0,395	352	0,729	28,8	360	3,04	107,04	13,73	-	1,65	0,070	62,70	0,85	...	5,064	23,302	11,885	0,249
105	Âmbar	0,821	354	0,746	29,0	286	3,05	68,75	14,46	0,04	8,28	0,020	62,41	0,54	...	5,003	8,889	6,041	0,753
106	Âmbar claro	0,270	694	0,695	26,0	165	3,34	25,04	12,75	0,13	7,34	0,033	64,03	1,77	...	7,389	...	3,439	0,624
107	Âmbar claro	0,266	764	0,694	24,7	181	3,26	27,33	14,19	0,45	9,73	0,030	65,05	1,81	...	4,669	...	1,200	...
108	Âmbar	0,930	843	0,682	24,2	305	3,41	40,01	16,37	0,49	8,28	0,090	65,39	0,94	...	5,719	7,864	2,798	...
109	Âmbar claro	0,384	334	0,721	29,0	288	3,11	76,86	9,73	0,21	0,95	0,020	62,02	0,22	...	6,789	16,036	5,373	0,430
110	Âmbar escuro	0,995	839	0,685	24,2	296	3,36	40,93	15,14	0,59	11,83	0,060	64,56	0,53	...	5,889	29,514	2,287	0,438
111	Branco	0,101	221	0,740	30,2	364	2,99	96,74	3,27	0,03	8,48	0,007	60,48	0,12	...	6,179	12,747	2,206	0,440
112	Branco	0,109	246	0,738	30,3	356	3,01	93,92	3,37	0,02	7,98	0,003	61,49	-	...	7,017	10,233	2,225	0,418

Nota: Os valores removidos, considerados estatisticamente como “outliers”, encontram-se em negrito

Anexo B – Valores máximos, mínimos e desvios-padrão dos parâmetros dos méis de cada espécie estudada: cor (valor de absorbância), viscosidade (Vis), atividade de água (a_w), umidade (Um), condutividade elétrica (Cond), potencial hidrogeniônico (pH), acidez livre (Ac), índice de formol (IF), atividade diastásica (AD), hidroximetilfurfural (HMF), cinzas (Cin), açúcares redutores (AR), sacarose aparente (Sac), mercúrio (Hg), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cobre (Cu)

Espécies*		Cor	Vis	aW	Um	Cond	pH	Ac	IF	AD	HMF	Cin	AR	Sac	Zn	Cd	Pb	Cu
AM	Máx.	0,907	98633	0,638	20,4	962	4,54	74,84	13,62	20,31	158,38	0,56	79,43	10,70	4,259	7,559	0,972	0,479
	Mín.	0,096	4180	0,542	14,6	146	3,43	9,17	1,17	0,08	0,55	0,05	63,55	0,00	0,274	0,175	0,005	0,004
	DP	0,187	14871	0,023	1,1	200	0,26	13,48	2,86	4,33	39,28	0,14	3,76	1,71	1,038	1,867	0,222	0,123
MSC	Máx.	0,456	5395	0,732	28,7	912	3,88	66,96	6,11	-	19,46	0,36	69,82	3,17	1,413	4,931	0,369	0,375
	Mín.	0,131	343	0,613	19,2	416	3,19	13,18	1,31	-	0,25	0,07	60,56	0,00	0,362	0,583	0,013	0,001
	DP	0,097	1314	0,035	2,8	137	0,19	16,00	1,15	-	5,26	0,08	2,59	0,86	0,274	1,423	0,089	0,107
MQ	Máx.	0,675	828	0,744	30,2	700	3,75	89,64	9,99	-	32,48	0,19	72,03	3,41	2,955	9,816	0,390	0,435
	Mín.	0,165	137	0,691	20,4	229	3,21	17,10	1,31	-	1,55	0,06	59,16	0,00	1,089	1,120	0,053	0,027
	DP	0,199	205	0,018	4,0	133	0,19	19,49	2,68	-	8,84	0,04	3,38	1,23	0,708	2,987	0,097	0,158
MM	Máx.	0,364	942	0,692	25,0	299	3,65	38,10	4,75	-	16,12	0,10	71,02	0,00	3,579	5,385	0,193	0,289
	Mín.	0,170	588	0,670	23,9	284	3,41	19,19	2,91	-	0,50	0,09	66,59	0,00	2,050	5,385	0,093	0,200
	DP	0,137	250	0,016	0,8	11	0,17	13,37	1,30	-	11,05	0,01	3,13	0,00	1,081	...	0,071	0,063
TA	Máx.	0,648	13817	0,741	25,1	1565	4,44	93,95	18,92	30,06	15,32	0,51	62,19	1,98	4,226	4,727	0,462	0,805
	Mín.	0,393	1025	0,576	18,0	680	3,24	31,79	7,31	4,71	0,05	0,25	43,79	0,00	1,721	0,322	0,024	0,091
	DP	0,092	4161	0,065	2,2	280	0,32	21,37	5,05	9,24	6,08	0,09	5,88	0,64	0,859	1,394	0,156	0,247
MF	Máx.	0,598	2057	0,720	27,9	786	4,14	55,49	10,10	1,28	15,02	0,29	67,45	2,24	8,199	1,437	0,937	0,621
	Mín.	0,289	317	0,644	21,1	419	3,42	24,97	3,90	0,10	0,35	0,18	64,29	0,00	2,457	0,154	0,087	0,121
	DP	0,087	542	0,026	2,4	123	0,22	9,14	2,18	0,46	5,32	0,04	1,24	0,87	1,830	0,642	0,369	0,222
MSU	Máx.	0,995	843	0,746	30,3	364	3,41	107,04	16,37	0,59	11,83	0,09	65,39	2,93	7,389	16,036	5,373	0,624
	Mín.	0,101	221	0,682	24,2	165	2,99	25,04	3,27	0,00	0,95	0,00	59,74	0,00	4,669	7,864	1,200	0,177
	DP	0,331	252	0,024	2,5	69	0,16	29,78	4,71	0,23	3,38	0,03	1,93	0,93	0,965	3,404	1,296	0,145

* *Apis mellifera* (AM), *Tetragonisca angustula* (TA), *Melipona quadrifasciata* (MQ), *Melipona scutellaris* (MSC), *Melipona mandacaia* (MM), *Melipona fasciculata* (MF) e *Melipona subnitida* (MSU)

Anexo C – Estimativa das variâncias (autovalores) e porcentagem acumulada da variância total (%), obtidas por meio da análise de componentes principais, considerando-se as 112 amostras de mel e 17 características físico-químicas analisadas

Componentes principais	Autovalores	% Acumulada
P ₁	4,706	27,68
P ₂	3,790	49,97
P ₃	1,766	60,36
P ₄	1,380	68,48
P ₅	1,098	74,94
P ₆	0,836	79,85
P ₇	0,651	83,68
P ₈	0,578	87,08
P ₉	0,532	90,22
P ₁₀	0,490	93,10
P ₁₁	0,335	95,07
P ₁₂	0,243	96,50
P ₁₃	0,201	97,69
P ₁₄	0,172	98,70
P ₁₅	0,120	99,40
P ₁₆	0,056	99,74
P ₁₇	0,045	100,00