



MIRIAM HELENA ALVES EUGÊNIO

**ANÁLISE SENSORIAL QUÍMICA E PERFIL DE
VOLÁTEIS DE CAFÉS ESPECIAIS DAS
QUATRO REGIÕES CAFFEEIRAS DO ESTADO
DE MINAS GERAIS**

LAVRAS - MG

2016

MIRIAM HELENA ALVES EUGÊNIO

**ANÁLISE SENSORIAL QUÍMICA E PERFIL DE VOLÁTEIS DE
CAFÉS ESPECIAIS DAS QUATRO REGIÕES CAFFEEIRAS DO
ESTADO DE MINAS GERAIS**

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

Orientadora

Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira

Coorientador

Dr. Marcelo Ângelo Cirillo

LAVRAS - MG

2015

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

Eugênio, Miriam Helena Alves.

Análise sensorial química e perfil de voláteis de cafés especiais
das quatro regiões cafeeiras do estado de Minas Gerais / Miriam
Helena Alves Eugênio. – Lavras: UFLA, 2016.

138 p.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientadora: Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira.
Bibliografia.

1. Processamentos. 2. Atributos sensoriais. 3. Voláteis. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

MIRIAM HELENA ALVES EUGÊNIO

**ANÁLISE SENSORIAL QUÍMICA E PERFIL DE VOLÁTEIS DE
CAFÉS ESPECIAIS DAS QUATRO REGIÕES CAFFEEIRAS DO
ESTADO DE MINAS GERAIS**

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

APROVADA em 06 de agosto de 2015.

Dr. Cleiton Antônio Nunes	UFLA
Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho	UFLA
Dr. Marcelo Ângelo Cirilo	UFLA
Dra. Patrícia de Fátima Pereira Goulart	UNILAVRAS

Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira
Orientadora

Dr. Marcelo Ângelo Cirillo
Coorientador

LAVRAS - MG

2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e sabedoria para alcançar mais esta vitória!

À professora Dra. Rosemary G. F.A.Pereira, por acreditar na minha capacidade para o desenvolvimento deste trabalho e pelos valiosos ensinamentos durante todo o curso. Muito obrigada!

À minha mãe, Odenis, por todo o carinho e amor incondicionais.

Ao Laerson, pela compreensão e apoio.

Ao professor Dr.Marcelo Ângelo Cirilo, pelo grande auxílio nas análises estatísticas.

Ao professor Whasley, pela grande ajuda nas análises químicas.

À Emater, por disponibilizar as amostras de cafés especiais.

À amiga Katiany, pela essencial colaboração nas análises e amizade.

Aos amigos Dimas, Maísa, Sandra, Emanuelle, Edson, Fabiana, Mariana, Larissa, Fernanda e Adriene, pelo apoio e incentivo.

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.

Enfim, a todos que participaram, direta ou indiretamente, deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O aumento expressivo da demanda por cafés especiais, tanto no mercado nacional quanto no internacional, associado ao potencial das diferentes regiões produtoras do estado de Minas Gerais para a produção de cafés diferenciados, justifica estudos que visem compreender a relação entre constituição química e perfil volátil do café torrado e a qualidade sensorial da bebida proveniente dessas regiões. Em vista disso, este trabalho foi realizado com os objetivos de: i) avaliar como a interação entre processamentos e regiões afeta a qualidade dos cafés, bem como relacionar a composição química (acidez titulável, pH, cinzas, sólidos solúveis, açúcares totais, trigonelina cafeína, ácido 5-cafeoilquínico (5-ACQ), ácido tridecanoico, ácido pentadecanoico, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico, ácido linoleico, α -linolênico, ácido eicosanoico e ácido heneicosanoico) com sua qualidade sensorial e ii) caracterizar o perfil volátil e sensorial de cafés especiais produzidos nas quatro regiões do estado de Minas Gerais e correlacionar os compostos voláteis com os resultados da análise sensorial. Foram avaliadas amostras de cafés provenientes das regiões Sul de Minas, Matas de Minas, Cerrado Mineiro e Chapadas de Minas e dos pré-processamentos via seca (natural) e via úmida (cereja descascado). Para cada região, foram obtidas duas amostras de diferentes processamentos, totalizando oito amostras. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Concluiu-se que: i) as amostras de cafés especiais apresentaram diferenças significativas em todas as variáveis analisadas, exceto para os atributos sensoriais das regiões do Sul de Minas, Matas de Minas e Cerrado Mineiro. Os cafés da região das Chapadas de Minas apresentaram as menores notas sensoriais em todos os atributos, inclusive na nota sensorial final. O tipo de processamento influenciou significativamente o teor da maioria das variáveis analisadas. O conteúdo de cinzas permitiu a discriminação dos cafés com maiores e menores notas sensoriais. As variáveis cafeína e doçura influenciaram a discriminação dos cafés das Chapadas de Minas, independente do tipo de processamento, com maior e menor intensidade, respectivamente. As maiores concentrações dos ácidos eicosanoico e heneicosanoico foram relacionadas aos cafés de maiores notas sensoriais e contribuíram para a discriminação deles em relação aos cafés com menores notas sensoriais; ii) as classes de compostos químicos com maior número de identificações prováveis e maiores áreas foram furanos, pirazinas e cetonas. As amostras Sul de Minas pré-processamento natural (SM_NAT); Cerrado Mineiro pré-processamento cereja descascado (CER_CD); Cerrado Mineiro pré-processamento natural (CER_NAT); Sul de Minas pré-processamento cereja descascado (SM_CD) e Chapadas de Minas pré-processamento natural (CHA_NAT) foram relacionadas, principalmente, ao 2-furanmetanol acetate. Outros compostos, como 3 pentanone, 2-methyl-, 2,3

dimethylpyrazine; 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine e 5-methylfurfural, também contribuíram para a discriminação desses cafés. A amostra CHA_CD foi relacionada, principalmente, a 2,3 dimethylpyrazine. No entanto, pyridine e acetic acid também foram relacionados a esse café, o que pode ter contribuído para a sua menor nota na análise sensorial. Os cafés da região das Matas de Minas foram discriminados pelo composto 2,6-dimethylpyrazine, que pode ser considerado um indicador de qualidade desses cafés.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Qualidade. Processamentos. Atributos sensoriais. Voláteis.

ABSTRACT

The significant increase in the demand for specialty coffees, both in the domestic and international market, together with the potential of different producing regions in the state of Minas Gerais for the production of specialty coffees, justifies studies aimed at understanding the relationship between chemical constitution and volatile profile of roasted coffee and the sensory quality of the drink from these regions. As a result, this study was conducted with the following objectives: i) evaluate how the interaction between processing and regions affects coffee quality, as well as relate the chemical composition (titratable acidity, pH, ash, soluble solids, total sugars, trigonelline, caffeine, 5-caffeoylquinic acid (5-CQA), tridecanoic acid, pentadecanoic acid, palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, α -linolenic acid, eicosanoic acid and heneicosanoic acid) with their sensory quality and ii) characterize volatile and sensory profiles of specialty coffees produced in the four regions of Minas Gerais and correlate volatile compounds with the results of the sensory analysis. Coffee samples from the regions Southern Minas Gerais, Matas de Minas, Cerrado Mineiro and Chapada das Minas, as well as dry (natural) and wet (parchment) pre-processing procedures, were evaluated. For each region, two samples of different processes were obtained, totaling eight samples. The design was completely randomized (CRD). It was concluded that: i) specialty coffee samples showed significant differences for all analyzed variables, except for the sensory attributes of regions in southern Minas Gerais, Matas de Minas and Cerrado Mineiro. Coffees from the region Chapada das Minas had the lowest sensory scores for all attributes, including final sensory score. The type of processing significantly influenced the majority content of the analyzed variables. The ash content allowed coffee discrimination with higher and lower sensory scores. The variables caffeine and sweetness influenced the discrimination of coffees from Chapadas de Minas, regardless of the type of processing, with higher and lower intensity, respectively. The highest concentrations of eicosanoic and heneicosanoic acids were related to coffees with higher sensory scores and contributed to their discrimination in relation to coffees with lower sensory scores; ii) the classes of chemical compounds with the most likely identifications and larger areas were furans, pyrazines and ketones. The samples natural Sul de Minas (SM_NAT); parchment Cerrado Mineiro (CER_CD); natural Cerrado Mineiro (CER_NAT); parchment Sul de Minas (SM_CD) and natural Chapadas de Minas (CHA_NAT) were mainly related to 2-furanmethanol acetate. Other compounds, such as 3-pentanone, 2-methyl-, 2,3-dimethylpyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine and 5-methylfurfural also contributed to the discrimination of these coffees. The sample CHA_CD was mainly related to 2,3-dimethylpyrazine. However,

pyridine and acetic acid were also related to this coffee, which may have contributed to its smaller score in the sensory analysis. The coffees in the region Matas de Minas were discriminated by the compound 2,6-dimethylpyrazine, which can be considered an indicator of the quality of these coffees.

Keywords: *Coffea arabica* L. Quality. Processing. Sensory attributes. Volatile compounds.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1	11
1	INTRODUÇÃO GERAL	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Importância econômica do café no Brasil	14
2.1.1	O estado de Minas Gerais	15
2.2	Os cafés especiais	18
2.3	Composição química	20
2.4	O processo de torração	25
2.5	Processamento pós-colheita do café	26
2.6	Análise sensorial	29
2.7	Os constituintes voláteis do café	32
	REFERÊNCIAS	40
	CAPÍTULO 2 Análise sensorial e composição química de cafés especiais das diferentes regiões do estado de Minas Gerais	53
1	INTRODUÇÃO	54
2	MATERIAL E MÉTODOS	56
2.1	Matéria-prima e instalações	56
2.2	Preparo da amostra	56
2.3	Preparo para a degustação	57
2.4	Análise sensorial	57
2.5	Caracterização das amostras	58
2.6	Umidade	58
2.7	Acidez titulável	58
2.8	pH	58
2.9	Sólidos solúveis	59
2.10	Cinzas	59
2.11	Açúcares totais	59
2.12	Determinação dos teores de cafeína, ácido clorogênico e trigonelina	59
2.13	Ácidos graxos	60
2.13.1	Extração	60
2.13.2	Determinação do perfil de ácidos graxos	61
2.14	Análise estatística	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.1	Composição bromatológica e qualidade sensorial: efeito das regiões e processamentos	64
3.1.1	Escalonamento multidimensional (MDS)	70
3.2	Compostos bioativos: efeito das regiões e processamentos	74
3.2.1	Escalonamento multidimensional	78

3.3	Ácidos graxos: efeito das regiões e processamentos	82
3.3.1	Escalonamento multidimensional.....	85
4	CONCLUSÕES.....	89
	REFERÊNCIAS.....	90
	CAPÍTULO 3 Perfis sensorial e volátil de cafés especiais das quatro regiões do estado de Minas Gerais.....	98
1	INTRODUÇÃO	100
2	MATERIAIS MÉTODOS.....	102
2.1	Matéria-prima e locais de execução	102
2.2	Torração do café	102
2.3	Análise sensorial	103
2.4	Extração dos compostos voláteis	103
2.5	Análise dos compostos voláteis	104
2.6	Análise estatística.....	104
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	105
3.1	Análise sensorial	105
3.2	Compostos voláteis	108
4	CONCLUSÕES.....	132
	REFERÊNCIAS.....	133
	ANEXO.....	138

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os cafés especiais são uma segmentação de mercado baseada na diferenciação dos atributos de qualidade e cresce estimulada pelo aumento da procura por esse tipo de produto. Essa ascensão no consumo de cafés especiais incentiva o setor cafeeiro a investir em sistemas integrados de produção, de forma sustentável, para agregar valor ao produto e assim diferenciá-los de cafés commodities.

A demanda do mercado por cafés especiais apresenta um expressivo crescimento; eles são caracterizados por apresentarem alta qualidade, grande potencial para desenvolvimento do *flavor* após o processo de torração e ausência de qualquer tipo de defeito (TAVEIRA et al., 2014). O *flavor* é um dos mais importantes critérios empregados para a comercialização e o consumo do café. Ele é considerado sua impressão digital e é de grande importância para a análise sensorial da bebida (AGRESTI et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009).

O *flavor* é formado durante o processo de torração, quando aproximadamente trezentos compostos presentes no grão cru originam quase mil constituintes voláteis, incluindo classes de furanos, pirazinas, cetonas, pirroles fenóis, hidrocarbonetos, ácidos, anidridos, aldeídos, ésteres, álcoois e compostos sulfurados entre outros. No entanto, o aroma desejável é produzido por um delicado balanço de compostos voláteis e acredita-se que apenas 5% desses constituintes odoríferos sejam capazes de produzir impacto no *flavor* do café e, conseqüentemente, na qualidade sensorial do mesmo (TOCI; FARAH, 2014).

Os precursores do *flavor* são os compostos nitrogenados, os carboidratos, os lipídeos, os compostos fenólicos e também outros constituintes formados durante o processo de torração, devido à síntese e à degradação de

compostos, como cafeína, trigonelina e os ácidos clorogênicos. Os teores desses constituintes presentes no grão cru são influenciados por material genético, condições edafoclimáticas e agronômicas, como altitude, temperatura, demanda hídrica, tipos e níveis de fertilização e o estágio de maturação dos frutos, além do processamento pós-colheita e das condições de armazenamento. Esses fatores afetam a composição química do café e definem a qualidade e a aceitação sensorial da bebida (KITZBERGER; SCHOLZ; BENASSI, 2014; MONTAVON; MAURON; DURUZ, 2003; OOSTERVELD; VORAGEN; SCHOLS, 2003; SILVA et al., 2005).

O Brasil é o maior produtor mundial de café e suas dimensões continentais, com ampla diversidade de topografia e clima entre suas regiões produtoras, permite o desenvolvimento de cafés com características sensoriais diferenciadas e únicas, o que não ocorre em nenhuma outra nação que produz o grão no mundo (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION – BSCA, 2014). Os principais estados brasileiros produtores de café são Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Minas Gerais. Entre eles destaca-se Minas Gerais, com grande potencial para a produção de cafés de qualidade e diversidade de sabores e aromas. Esses atributos estão particularmente relacionados com variações climáticas, altitude e sistema de produção das diferentes regiões produtoras do estado (BARBOSA et al., 2012).

O estado de Minas Gerais é pioneiro na obtenção de selos de certificação como os de indicações geográficas que agregam valor ao produto e o inserem mais facilmente no mercado mundial devido ao grande apelo dos consumidores pela rastreabilidade alimentar. Os cafés produzidos nas regiões do Cerrado Mineiro, e na microrregião Mantiqueira de Minas, pertencente à região do Sul de Minas, apresentam denominação de origem e indicação de procedência, respectivamente. A denominação de origem refere-se às características específicas de um produto que são atribuídas a uma determinada região

produtora. Já a indicação de procedência é relacionada ao nome do local que se tornou conhecido por produzir, extrair ou fabricar determinado produto ou prestar determinado serviço (INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI, 2015). A indicação geográfica tem o objetivo de valorizar o café e torná-lo conhecido mundialmente por suas características peculiares.

Em diversos estudos associou-se a grande variabilidade no conteúdo de constituintes químicos de cafés às diferentes regiões geográficas em que eles foram cultivados. Esses trabalhos tiveram como objetivos a discriminação de espécies e a avaliação do grau de torração, das propriedades funcionais, além das interações entre os constituintes químicos do café cru, os fatores ambientais e a qualidade sensorial (BARBOSA et al., 2012; BICCHI et al., 1995; CASAL; OLIVEIRA; FERREIRA, 2000; FIGUEIREDO, 2013; JOËT et al., 2010; MAZZAFERA; CARVALHO, 1992; TAVEIRA et al., 2014). Contudo, são escassos os trabalhos nos quais se correlacionaram os compostos presentes no café torrado com a qualidade sensorial da bebida, e em nenhum deles avaliaram-se esses parâmetros em cafés especiais torrados cultivados nas quatro regiões produtoras do estado de Minas Gerais.

Nesse contexto, os objetivos do presente trabalho foram caracterizar amostras de cafés especiais torrados produzidos nas quatro diferentes regiões do estado de Minas Gerais (Sul de Minas, Matas de Minas, Cerrado Mineiro e Chapadas de Minas) provenientes dos processamentos via seca e via úmida quanto à sua constituição química e perfil volátil, bem como correlacionar os resultados com a qualidade sensorial da bebida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica do café no Brasil

O café é considerado um dos produtos agrícolas que mais geram riquezas no mundo. É responsável pela produção de um grande número de empregos em todos os setores da economia, desde o de máquinas, equipamentos e insumos, passando pela produção no campo e pela indústria, até o setor de serviços, como logística e comércio.

No Brasil, maior produtor e exportador mundial de café e segundo maior consumidor do produto, atualmente, o parque cafeeiro é estimado em 2.256 milhões de hectares. São cerca de 287 mil produtores, predominando mini e pequenos, em, aproximadamente, 1.900 municípios que, fazendo parte de associações e cooperativas, distribuem-se em 15 estados: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo. A cadeia produtiva de café é responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no país, proporcionando renda e acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (BRASIL, 2015). Com suas dimensões continentais, apresenta uma variedade de climas, relevos, altitudes e latitudes que permitem a produção de uma ampla gama de tipos e qualidades de cafés (BRASIL, 2015). Além disso, o país lidera o processo de desenvolvimento tecnológico, principalmente na irrigação, na fertirrigação e na mecanização (MORAIS et al., 2008; SAES; NAKAZONE, 2004).

O país é maior produtor e exportador mundial de café e colheu, na safra 2014, mais de 45,3 milhões de sacas beneficiadas, sendo 32,3 milhões de café arábica e 13,0 milhões de conilon. Os principais estados produtores são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Goiás, que

respondem por 98,8% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2015a). No período de janeiro a dezembro de 2014, o café representou 6,9% das exportações nacionais, que chegaram a 36,73 milhões de sacas de 60 kg, gerando uma receita de US\$ 6,66 bilhões e ocupando a 5ª posição no ranking de exportações do agronegócio brasileiro.

A estimativa para a produção da safra cafeeira (espécies arábica e conilon) em 2015 indica que o país deverá colher 44,25 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado. Essa perspectiva representa uma redução de 2,4%, comparada com a produção de 45,34 milhões de sacas obtidas no ciclo anterior (CONAB, 2015b).

O consumo interno de café no Brasil, que havia registrado uma retração de 1,23% em 2013, mostrou recuperação de 1,24% e atingiu 20,33 milhões de sacas nos doze meses compreendidos entre novembro/2013 e outubro/2014. O consumo per capita também aumentou ligeiramente, passando a 4,89 kg/habitante/ano de café torrado e moído (6,12 kg de café verde em grão), o equivalente a 81 litros de café/habitante/ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC, 2015).

2.1.1 O estado de Minas Gerais

O estado de Minas Gerais tem o maior parque cafeeiro (cerca de um milhão de hectares plantados) do país e responde por mais de 50% da produção brasileira de café. O agronegócio café, além de expressivo economicamente para o estado, tem, ainda, grande importância social, pois gera mais de 4 milhões de empregos diretos e indiretos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS – EMBRAPA, 2014). A cafeicultura, presente em mais de 500 dos 853 municípios mineiros, encontra-se distribuída em quatro grandes regiões produtoras, as quais estão ilustradas na Figura 1.

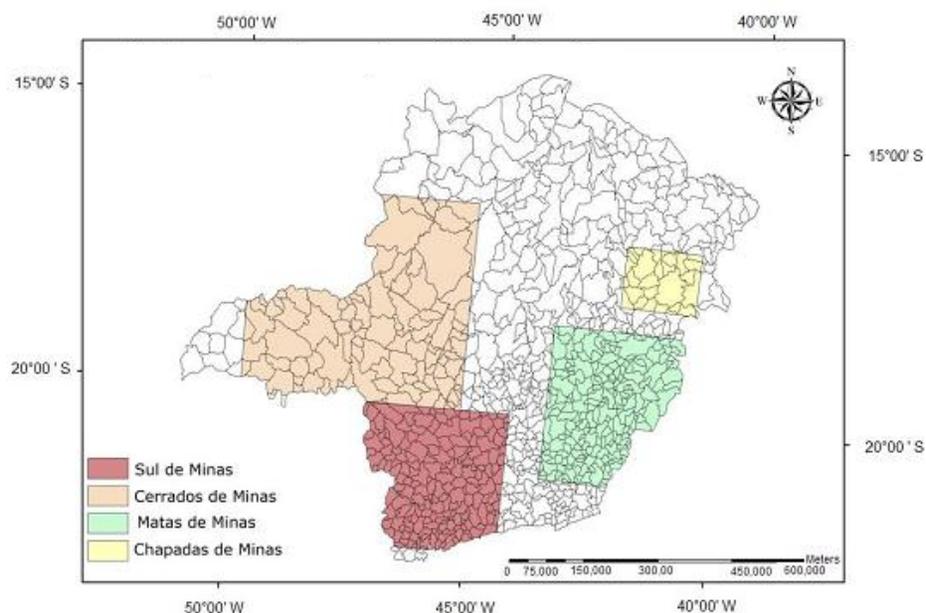


Figura 1 Mapa das regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais (BARBOSA et al., 2012; RIOS, 1997)

No Sul de Minas encontram-se 30% dos municípios produtores de café do estado que devem responder, em 2015, por 45% da produção mineira. Essa região situa-se na área geográfica limitada pelos paralelos 21° 13' a 22° 10' latitude sul e 44° 20' a 47° 20' de longitude oeste, caracterizando-se por altitudes elevadas, variando de 700 a 1.200 m, e clima úmido, que é predominante em grande parte da região. Os tipos de café produzidos nesta região têm doçura e corpo moderados, com concentração de ácido cítrico de médio a alto (ABIC, 2009; BARBOSA et al., 2012; CARVALHO et al., 2008; CONAB, 2015a; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC, 1983; MINAS GERAIS, 1995).

O Cerrado Mineiro, que envolve as regiões do Alto Paranaíba, Noroeste e Triângulo Mineiro, representa 10% dos municípios produtores e 21% da produção de café do estado. Essa região situa-se nas coordenadas 16° 37' a 20°

13' latitude sul e 45° 20 'a 49° 48' de longitude oeste e é caracterizada por áreas montanhosas com altitudes variando 820 a 1.100 m e clima úmido em sua maior parte. O café cereja descascado produzido nessa região tem excelente aroma e doçura, é encorpado e tem boa presença (ABIC, 2009; BARBOSA et al., 2012; CARVALHO et al., 2008; CETEC, 1983; CONAB, 2015a; MINAS GERAIS, 1995).

As Matas de Minas abrangem 43% dos municípios produtores e 31% da produção estadual. Localiza-se a 40° 50 'a 43° 36' de latitude sul e 18° 35 'a 21° 26' de longitude oeste e é caracterizada por zonas montanhosas, com altitudes variando de 400 a 700 m. A precipitação anual é entre 1.077 e 1.647 mm e clima variando de úmido a subúmido. O café produzido nesta região é caracterizado por ter bom corpo, com acidez e doçura (ABIC, 2009; BARBOSA et al., 2012; CARVALHO et al., 2008; CETEC, 1983; CONAB, 2015a; MINAS GERAIS, 1995).

As Chapadas de Minas compreendem 17% dos municípios produtores e 3% da produção estadual. Localiza-se a 17° 05 'a 18° 09' latitude sul e 40° 50 'a 42° 40' de longitude oeste. É caracterizada por áreas com altos cumes, elevações em torno de 1.099 m e precipitações médias anuais que variam de 700 a 1.300 mm. A região está livre do frio e o clima é subdividido em subúmido e semiárido seco. O café nesta região tem aroma consistente e característico, bem como bebidas de equilibrado corpo e acidez (ABIC, 2009; BARBOSA et al., 2012; CARVALHO et al., 2008; CETEC, 1983; CONAB, 2015a; MINAS GERAIS, 1995).

A produção de café de Minas Gerais está estimada em 23,64 milhões de sacas na safra 2015, das quais 10,8 milhões de sacas serão provenientes do Sul de Minas, 5,04 milhões de sacas do Cerrado Mineiro, 7,07 milhões de sacas das Matas de Minas e quase 730,3 mil sacas das Chapadas (CONAB, 2015b).

2.2 Os cafés especiais

O consumo dos cafés especiais aumenta de maneira expressiva no Brasil e no mundo, quando comparado ao mercado dos cafés commodities. Dados recentes evidenciam que a demanda pelos grãos especiais cresce em torno de 15% ao ano, principalmente no exterior, em relação ao crescimento de cerca de 2% do café commodity. O segmento representa, hoje, aproximadamente 12% do mercado internacional da bebida. O valor de venda atual para alguns cafés diferenciados tem um sobrepreço médio que varia entre 30% e 40% do café convencional. Em alguns casos, pode ultrapassar a barreira dos 100% (BSCA, 2015).

Os cafés especiais diferenciam-se dos cafés comuns por características relacionadas com a qualidade da bebida, o aspecto físico dos grãos, o local de origem, a forma de cultivo e de colheita, o tipo de preparo, as cultivares e a quantidade limitada de produção, dentre outras (GIOMO; BORÉM, 2011; PICCINO et al., 2013). De acordo com a *Specialty Coffee Association of America* (SCAA), os cafés classificados com especiais não apresentam nenhum tipo de defeito primário (preto, ardido, coco, danificado por fungo, severamente danificado por inseto, material estranho) e podem ter até, no máximo, cinco defeitos secundários (parcialmente preto, parcialmente ardido, marinheiro, mal formado, verde, concha, quebrado, cascas, levemente danificado por insetos). Não pode apresentar nenhum grão *quaker* no café torrado e a nota na análise sensorial deve ser, no mínimo, de 80 pontos. Esses cafés equivalem a um café bebida mole, de acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003 (BRASIL, 2003; GIOMO; BORÉM, 2011).

As classificações para cafés especiais, de acordo com sua pontuação total, são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 Escala de classificação para análise sensorial de cafés, conforme protocolo SCAA

Pontuação Total	Descrição especial	Classificação Specialty
90-100	Exemplar	<i>Specialty Rare</i> (especial raro)
85-89,99	Excelente	<i>Specialty Origin</i> (especial de origem)
80-84,99	Muito bom	<i>Specialty</i> (especial)
<80	Abaixo do grau Specialty	<i>Below Specialty</i> (não especial)

Fonte: Specialty Coffee Association of America – SCAA (2008)

Ainda que o café se encontre dentro dos padrões estabelecidos pela SCAA, para ser considerado especial, ele deve apresentar um caráter distinto na xícara e ser notavelmente bom, pois, mesmo apresentando bom aspecto físico, se, após o processo de torração, não for significativamente aromático e agradável ao paladar, poderá deixar de ser um café especial (FIGUEIREDO, 2013; SCAA, 2012).

As principais categorias de cafés especiais são descritas a seguir.

Gourmet: são grãos de café arábica, com peneira maior que 16 e de alta qualidade. É produto diferenciado, quase isento de defeitos e que se relaciona a características intrínsecas do grão, como doçura, acidez e corpo, entre outros atributos. Para se obter um café *gourmet*, são necessárias alterações na produção, principalmente na etapa pós-colheita. É necessário que os cafeicultores separem os frutos cerejas dos verdes e secos, secando-os separadamente para obter lotes segregados (BSCA, 2015; RODARTE, 2008).

Origem: está relacionada às regiões de origem dos plantios, pois alguns dos atributos de qualidade do produto são inerentes à região onde a planta é cultivada (BSCA, 2015).

Sombreado: café produzido sob o abrigo de floresta natural, promovendo um hábitat para pássaros, insetos e outros animais (RODARTE, 2008; SAES, 2006).

Orgânico: é produzido sob as regras da agricultura orgânica. O café deve ser cultivado exclusivamente com fertilizantes orgânicos e o controle de pragas e doenças deve ser feito biologicamente. Apesar de ter maior valor comercial, para ser considerado como pertencente à classe dos cafés especiais, o café orgânico deve apresentar especificações qualitativas que agreguem valor e o fortaleçam no mercado (BSCA, 2015).

Fair trade (comércio justo esolidário): aquele cujos consumidores estão preocupados com as condições socioambientais sob as quais o café é cultivado. Nesse caso, o consumidor paga mais pelo café produzido por pequenos agricultores ou sistemas de produção sombreados, onde a cultura é associada à floresta. É muito empregado na produção de cafés especiais, pois favorece a manutenção de espécies vegetais e animais nativos (BSCA, 2015).

Segundo a ABIC (2015), os cafés *gourmet*, pouco conhecidos até alguns anos atrás, já são identificados por 37% dos consumidores, tendo 51% dos entrevistados da classe A relatado que conhecem e apreciam esse tipo de café. Além disso, 44% dos entrevistados responderam que estariam dispostos ou muito dispostos a pagar a mais por estes cafés, desde que reconheçam uma qualidade superior.

2.3 Composição química

Os constituintes presentes no grão de café cru são muito importantes para a sua qualidade, pois são precursores de compostos formados durante a torração, que são responsáveis pelo sabor e aroma do café (FLAMENT, 2002). Essa constituição depende de vários fatores, como variabilidade genética, condições edafoclimáticas e agrônômicas (altitude, temperatura, demanda hídrica, tipos e níveis de fertilização e maturação do grão), pós-colheita, processo de torração e condições de armazenamento (KITZBERGER;

SCHOLZ; BENASSI, 2014; MONTAVON; MAURON; DURUZ, 2003; OOSTERVELD; VORAGEN; SCHOLS, 2003; SILVA et al., 2005).

As principais classes de compostos químicos encontrados no café cru e que são responsáveis pela composição volátil do café torrado são os alcaloides, como cafeína e trigonelina, ácidos clorogênicos, carboidratos, lipídeos e proteínas. Durante o processo de torração, a composição do café é drasticamente modificada e centenas de substâncias associadas com o *flavor* e aroma são formadas (NIJSSEN et al., 1996; RIBEIRO et al., 2009).

Os açúcares contribuem para a doçura da bebida do café, sendo considerados um dos mais importantes constituintes para o *flavor* dos cafés especiais, pois participam de importantes reações químicas, como a reação de Maillard, dando origem a compostos responsáveis pela cor, o sabor e o aroma peculiar da bebida (ARRUDA et al., 2012; LIU; KITTS, 2011; MURKOVIC; DERLER, 2006; TAVEIRA et al., 2015).

Os açúcares totais nos grãos crus são constituídos pelos açúcares redutores, principalmente glicose e frutose, e pelos não redutores, em que predomina a sacarose que, durante o processo de torração, pode ser degradada a, aproximadamente, 98% em um café submetido à torração média (FIGUEIREDO, 2013; TRUGO; MACRAE, 1984). Rodarte (2008), avaliando a composição química de café especiais crus e torrados, verificou uma significativa diminuição no teor de açúcares totais e redutores após o processo de torração e atribuíram essa redução à participação dos açúcares nas reações de Maillard e caramelização.

As proteínas contribuem para o sabor do café por meio das reações de decomposição que ocorrem durante o processo de torração. Os grupamentos aminos reagem com os açúcares redutores (reação de Maillard), dando origem a compostos coloridos desejáveis, responsáveis pela cor marrom do café, além de

promoverem a formação de diversos compostos importantes para o seu aroma (CARVALHO; CHAGAS; SOUZA, 1997; RODARTE, 2008).

A cafeína é o maior alcaloide presente no grão cru do café e seu conteúdo é correlacionado com a qualidade da bebida, uma vez que contribui para o seu amargor (ALONSO-SALCES et al., 2009; FARAH et al., 2006; RODRIGUES; BRAGAGNOLO, 2013). Figueiredo et al. (2013) discriminaram a qualidade da bebida de café Bourbon proveniente de diferentes ambientes e concluíram que cafés de qualidade superior apresentaram menores teores de cafeína.

Os ácidos clorogênicos são a maior família de compostos fenólicos e representam de 6% a 12% dos constituintes do café. Eles são conhecidos por serem responsáveis pela pigmentação e a adstringência da bebida. A degradação térmica dos ácidos clorogênicos durante o processo de torração resulta na formação de substâncias fenólicas que contribuem para o amargor e compostos aromáticos, como os fenóis, que são indesejáveis para a qualidade de xícara (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; FARAH; DONAGELO, 2006; FARAH et al., 2005; TOCI; FARAH, 2008).

A presença de elevadas quantidades de ácidos clorogênicos aumenta a adstringência do sabor da bebida, resultando na desvalorização do produto (CLIFFORD, 2000; TAVEIRA et al., 2015). Farah et al. (2006) identificaram oito ácidos clorogênicos no café e correlacionaram as maiores concentrações desses compostos com cafés de pior qualidade (bebida rio zona) e os menores conteúdos em cafés de melhor qualidade (bebida mole). Clifford (1999) afirma que teores elevados de ácidos clorogênicos no café são responsáveis pela sua adstringência e interferência no sabor e no aroma do café torrado.

A trigonelina é o segundo maior alcaloide encontrado no grão de café cru. Durante o processo de torração, esse composto sofre severas degradações térmicas, gerando uma série de compostos voláteis, como as piridinas e os

derivados de pirróis, que são importantes para o *flavor* da bebida. Além disso, devidos às condições levemente ácidas durante o processo de torração, a trigonelina é desmetilada, gerando ácido nicotínico, que é uma vitamina do complexo B solúvel em água (MONTEIRO; TRUGO, 2005; NOGUEIRA; TRUGO, 2003; RODRIGUES; BRAGAGNOLO, 2013).

O conteúdo de trigonelina também pode ser correlacionado com a qualidade de xícara (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; FARAH et al., 2006). Farah et al. (2006), trabalhando com cafés de diferentes qualidades de bebida, constataram relação entre a qualidade e o conteúdo de trigonelina nos grãos crus. Com a redução da qualidade, os teores de trigonelina diminuíram de 1,34 g/100 g para 0,96 g/100 g, resultando em uma forte correlação negativa com a má qualidade e com *off-flavor* rio.

Os lipídeos são importantes constituintes para o aroma, pois ele age como precursor de muitos compostos relacionados ao *flavor* e atuam como reservatórios de constituintes voláteis, proporcionando a bebida do café, características desejáveis, como a cremosidade (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; NOVAES et al., 2015). A fração lipídica do café é composta, principalmente, por triacilgliceróis (75%-80%), esteróis (2%-5,4%) e uma grande quantidade de diterpenos, como cafestol, kahweol e 16-omethylcafestol (7%-20%) (NOVAES et al., 2015; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006).

Os triacilgliceróis são importantes transportadores de aroma no grão de café torrado (FIGUEIREDO, 2013; PETRACCO, 2005) e sua composição de ácidos graxos (FA) determina a geração de produtos de oxidação termicamente induzidos, em especial os aldeídos, que reagem com os intermediários da reação de Maillard, dando origem a compostos de aroma adicionais ao café (FLAMENT, 2002; FIGUEIREDO, 2013). Os ácidos graxos são encontrados, na maior parte dos casos, na forma combinada, sendo a maior parte deles esterificada com glicerol em triacilgliceróis; aproximadamente 20% são

esterificados com diterpenos e uma pequena parte é verificada em éteres de esterol.

Os triglicerídeos do grão do café são pouco afetados pelo processo de torração, sofrendo apenas pequena hidrólise e decomposição, com liberação de ácidos graxos e formação de produtos voláteis (LICCIARDI et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2014). No entanto, nas torrações mais escuras, muitas células sofrem rompimento e o óleo pode migrar para a superfície do produto (FRANÇA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2014).

Em alguns estudos foi constatada positiva relação entre o alto conteúdo da fração lipídica e a melhor qualidade do café. Decazy et al. (2003) relacionaram o conteúdo de lipídios com a qualidade da bebida e verificaram que os cafés que apresentaram os maiores teores desses compostos foram os preferidos pelos provadores. Figueiredo (2013), avaliando a composição de ácidos graxos e qualidade de cafés especiais produzidos no Brasil, constatou que os ácidos graxos saturados são possíveis discriminadores da qualidade de cafés especiais, indicando melhor qualidade sensorial. Já os ácidos graxos insaturados relacionaram-se com os cafés que apresentaram menores intensidades nos atributos acidez, fragrância, corpo e sabor, que são características sensoriais bastante valorizadas em cafés especiais.

Em diversos estudos identificaram-se e quantificaram-se os principais ácidos graxos presentes no café cru (BERTRAND et al., 2008; FIGUEIREDO, 2013; JOËT et al., 2010). Entretanto, trabalhos visando correlacionar o perfil de ácidos graxos no café torrado com a qualidade da bebida ainda não foram desenvolvidos.

2.4 O processo de torração

A torração é um procedimento essencial para a qualidade do café, pois são desenvolvidas propriedades organolépticas específicas para o *flavor*, aroma e cor (BOTTAZZI et al., 2012). Aproximadamente 300 compostos químicos presentes nos grãos crus originam cerca de 850 compostos após o processo de torração (FLAMENT, 2001; TAVEIRA et al., 2015). Esse processo pode ser dividido em três fases distintas: secagem, torração e resfriamento.

Na primeira fase do processo de torração, o grão de café perde sua água livre (aproximadamente 10%), ao passo que sua temperatura permanece constante ao redor de 100 a 104°C. A água ligada, em torno de 1% a 2%, também se evapora vagarosamente. Nesse estágio, apenas mudanças na coloração dos grãos podem ser verificadas e a temperatura começa a se elevar lentamente (VILAS-BOAS et al., 2001).

No final do processo de torração ocorre aumento da liberação de calor produzido nas reações de pirólise que se processam no interior dos grãos. Durante a pirólise, as principais reações químicas que ocorrem são de Maillard, Strecker, degradação de açúcares, polissacarídeos, proteínas entre outros (SOMPORN et al., 2011). Entre as principais mudanças físicas figuram a cor, a expansão dos grãos, a forma, a diminuição da densidade e as alterações no pH (BOTTAZZI et al., 2012).

A pirólise ocorre em intervalos de tempo muito curtos (décimos de segundo) e deve ser paralisada abruptamente no ponto de torração desejado, que é determinado pela mudança de coloração do grão (VILAS-BOAS et al., 2001). A fase do resfriamento pode ser feita por meio de ventilação ou jato de água sobre a massa de grãos, para que não ocorra torração excessiva dos mesmos e, conseqüentemente, perda da qualidade (BOTTAZZI et al., 2012).

O monitoramento da torração é realizado visualmente por meio da coloração dos grãos e também com o auxílio de discos Agtron que, associados à inspeção visual, auxiliam na determinação do ponto de torração. A escala de coloração dos discos varia de 0 a 100, determinada com base na absorção de luz infravermelha pelo grão do café ou pelo pó e dividida em intervalo de 10 em 10 valores, conhecidos como números Agtron. Cada número Agtron corresponde a um intervalo de temperatura do grão e quanto mais alto for o ponto de torração, menor será esse número (MELO, 2004).

A SCAA estabelece o grau de torração para cafés especiais entre os discos Agtron #65 a #55 (SCAA, 2008). No Brasil, o grau de torração predominante é escuro em torno do disco Agtron #45, favorecendo as fraudes, pois encobre partículas de outros materiais que, torrados a ponto de carbonizar, são misturados ao pó de café, não sendo detectáveis na fiscalização por métodos visuais. No entanto, nos últimos anos, com o surgimento de cafés superiores no mercado, esse padrão de torração vem sendo questionado (MOURA et al., 2007; RODARTE, 2008).

2.5 Processamento pós-colheita do café

A forma de processar o café determina o *flavor* característico da bebida e estabelece diferenças peculiares entre os cafés provenientes de cada tipo de processamento pós-colheita (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010). Esses métodos também apresentam um pronunciado efeito na composição química dos grãos, especialmente os componentes solúveis em água, como açúcares, cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; SMITH, 1985).

A escolha da forma de pré-processamento do café depende de diversos fatores, tais como as condições climáticas; investimento em tecnologia e

equipamentos, exigência do mercado consumidor quanto às características do produto e outorga para uso de água e disponibilidade de tecnologia para o tratamento das águas residuárias, dentre outros (BORÉM, 2008; CASTOLDI; CASTOLDI, 2013).

Historicamente, dois diferentes métodos são utilizados para o processamento do café: a via seca e a via úmida. No método via seca, os frutos são processados na sua forma integral, ou seja, com exocarpo, mesocarpo, endocarpo e semente, produzindo frutossecos, conhecidos como café em coco ou café natural. Nesse processo, a secagem é a etapa de maior importância, pois afeta a qualidade final do café, visto que grãos muito secos tornam-se quebradiços, produzindo o defeito quebrado. Por outro lado, os frutos que não são suficientemente secos tornam-se mais vulneráveis à deterioração causada pelo ataque de fungos e bactérias (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010).

No Brasil, em torno de 90% de sua produção total de café são processados via seca. Esse tipo de processamento tem sido valorizado na comercialização do café por originar bebidas mais encorpadas, doces e com acidez moderada (MALTA; CHAGAS, 2010). Alguns autores sugerem que essas características são consequência da translocação de componentes químicos da polpa e mucilagem para os grãos de café ou por um metabolismo diferenciado, proporcionado por uma secagem mais lenta, devido à atuação do exocarpo como barreira física para a saída de água para o ambiente (MALTA; CHAGAS, 2010; PAIVA, 2005; PEREIRA; VILELLA; ANDRADE, 2002; VILELLA et al., 2002).

Em diversos estudos relatam-se maiores teores de açúcares em cafés processados via seca (AMORIM et al., 2009; BORÉM, 2008; GONZALÉZ-RIOS et al., 2007). Taveira et al. (2015), avaliando a influência de diferentes métodos de processamento e secagem na qualidade fisiológica e na composição química de café, bem como a interação desses resultados na qualidade da bebida,

constataram que o processamento via seca apresentou maiores valores de açúcares totais e não redutores, quando comparado ao processamento via úmida. Tais fatos foram atribuídos à possível ocorrência da quebra de hexose para a produção de energia, devido à mudança da respiração aeróbica para fermentações lácticas ou alcoólicas, durante o despulpamento.

No método via úmida são originados os cafés em pergaminho, denominados despulpados (retirada da mucilagem por fermentação), desmucilados (retirada da mucilagem por desmucilador mecânico) e descascados (somente retirada da casca) (CASTOLDI; CASTOLDI, 2013). Em relação à qualidade de xícara, os cafés desmucilados e despulpados são conhecidos por apresentarem melhor qualidade, menos corpo, maior acidez e mais aroma, quando comparados aos cafés oriundos do processamento via seca. Já os cafés descascados apresentam corpo intermediário entre os cafés desmucilados e despulpados e os naturais (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010).

Malta et al. (2013), verificando a influência da secagem lenta e rápida sobre algumas variáveis bioquímicas, fisiológicas e da qualidade de bebida de grãos de café processados por via seca e via úmida, observaram maiores valores médios dos atributos sensoriais acidez e geral. Quanto ao processo de secagem, estes autores constataram maiores notas sensoriais para o sabor e nota final na secagem rápida.

Embora o pré-processamento de cafés por via úmida agregue valor ao produto e apresente inúmeras vantagens, esta tecnologia requer investimentos mais elevados e utilização mais intensiva da mão de obra. Deve-se considerar, ainda, que a técnica por via úmida envolve mais gasto de água do que o pré-processamento por via seca (STEGEN, 2003). O pré-processamento do café por via úmida gera grandes volumes de águas residuárias ricas em materiais orgânicos altamente poluentes. Além disso, retira dos mananciais um grande

volume de água limpa, que é devolvido ao meio ambiente com qualidade muito inferior (CASTOLDI; CASTOLDI, 2013; MATOS, 2003).

2.6 Análise sensorial

A análise sensorial é definida como a disciplina científica utilizada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1993; TEIXEIRA, 2009). Um produto pode apresentar excelentes características químicas, físicas e microbiológicas, porém, é imprescindível que os atributos sensoriais atendam aos anseios e às necessidades do consumidor. A análise sensorial é, assim, um fator determinante da qualidade, uma vez que a qualidade de um alimento ou bebida implica também na satisfação do consumidor (DELLA LUCIA; MININ; CARNEIRO, 2006).

A prova de xícara é uma das etapas mais importantes para o café, pois a definição do preço do produto é baseada em sua qualidade sensorial, que é feita por meio dos órgãos dos sentidos, especialmente gosto, olfato e tato. Embora possa parecer uma avaliação subjetiva, análise sensorial é o método mais utilizado para a caracterização da qualidade da bebida do café, em vista da complexidade dos fatores que envolvem a expressão de aromas e sabores na bebida (GIOMO; BORÉM, 2011).

Em todo o mundo, o mercado do café avalia a qualidade da bebida por meio da análise sensorial, principalmente com relação ao seu sabor e aroma. No Brasil, a comercialização do café commodity é baseada na quantidade de defeitos e por uma escala sensorial específica do *flavor* da bebida que a classifica em estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada, rio e rio zona (BÁRTHOLO; GUIMARÃES, 1997; FARAH et al., 2006; NOVAES et al.,

2015). Entretanto, não há uma padronização de procedimentos para a sua realização, especialmente com relação ao processo de torração do café. Esse tipo de avaliação se baseia em poucos atributos do produto, como acidez, corpo e ausência de defeitos (FERIA-MORALES, 2002; FIGUEIREDO, 2013), sendo, por isso, pouco utilizado para a análise sensorial de cafés especiais.

A metodologia SCAA é um método para avaliação sensorial de cafés especiais proposto por Lingle (2001), que utiliza procedimentos padronizados (protocolo) para a avaliação dos cafés especiais. Nesse protocolo são descritos detalhadamente todos os procedimentos que devem ser utilizados na avaliação sensorial, incluindo as etapas e os equipamentos necessários, a preparação da amostra, a preparação para a degustação, as características da água utilizada e a avaliação da amostra. A qualidade do café é, a seguir, expressa em uma escala numérica cujo valor máximo é dez. São avaliados dez importantes atributos para o café: fragrância/aroma, finalização, acidez, corpo, balanço, uniformidade, xícara limpa, doçura e avaliação global. Além desses atributos, os defeitos também são avaliados numericamente. A nota dada aos defeitos deve ser subtraída do resultado total.

Os atributos para avaliação sensorial são descritos a seguir.

Fragrância/aroma: definida como o cheiro do café quando ele ainda está seco. O aroma é o cheiro do café quando diluído em água quente.

Sabor: relata a intensidade, a qualidade e a complexidade da combinação de gosto e aroma, experimentado quando o café é sugado vigorosamente.

Finalização: é definida como a persistência do sabor, isto é, das características percebidas em sequência no paladar e que permanecem depois que o café é expelido da boca.

Acidez: é descrita como agradável, quando favorável. A acidez contribui para a vivacidade do café, sendo imediatamente experimentada quando o café é primeiramente sugado para dentro da boca.

Corpo: consiste na percepção tátil do líquido na boca, especialmente quando percebida entre a língua e o céu da boca.

Balanço: é o sinergismo entre os atributos sabor, finalização, acidez e corpo. Se em uma amostra está faltando determinado aroma ou atributo de gosto ou se os atributos são demasiadamente excessivos, a pontuação do balanço será reduzida.

Doçura: refere-se ao agradável sabor doce, sendo sua presença resultado da presença de certos carboidratos. O oposto da doçura é a adstringência ou sabores “verdes”. Dois pontos são concedidos para cada xícara, com um resultado máximo de dez pontos.

Xícara limpa: refere-se à falta de interferência de impressões negativas desde a primeira ingestão à sensação de finalização, refletindo a transparência da bebida. Numa avaliação a este atributo, observa-se a total influência do sabor, desde a sua ingestão até expeli-lo. Dois pontos são concedidos para cada xícara.

Uniformidade: refere-se à consistência de diferentes xícaras e amostras provadas. Se as xícaras tiverem sabores diferentes, o valor desse aspecto não deverá ser alto. Dois pontos são atribuídos a cada xícara, com um máximo de dez pontos, se todas as xícaras estiverem iguais.

Resultado global: refere-se ao valor da amostra; por exemplo, uma amostra com aspectos agradáveis muito altos, mas que apresente discrepâncias, receberá um valor menor.

Defeitos: são sabores negativos que depreciam a qualidade do café. Eles são classificados de acordo com a intensidade, que pode ser leve ou grave. Um defeito leve pode ser um sabor desagradável, menos intenso, sendo atribuída, nesse caso, uma nota 2, em intensidade. Para uma amostra com muita

adstringência, sabor de verdeou fermentado, é concendido o valor 4. Esse resultado deve ser subtraído do total.

A torração dos cafés especiais deve ser leve a moderadamente leve, cuja coloração corresponde a 58 pontos da escala Agtron para o grão inteiro e 63 pontos para o grão moído, com tolerância de ± 1 ponto. As amostras de café devem ser torradas, preferencialmente, 24 horas antes da degustação e descansarem por, no mínimo, 8 horas (SCAA, 2014).

Para a obtenção do ponto de torração ideal, é fundamental a padronização das amostras quanto ao peso e ao tamanho dos grãos, sendo imprescindível monitorar a temperatura e o tempo de torração para a preservação da qualidade do café, e deve ocorrer entre 8 a 12 minutos.

2.7 Os constituintes voláteis do café

O aroma do café torrado é constituído por uma mistura complexa de compostos com poderes odoríferos distintos presentes em diferentes concentrações sendo que uma mesma substância volátil pode causar uma sensação odorífera agradável ou desagradável, dependendo de sua concentração no meio e das interações com outros compostos (BUFFO; CARDELLI-FREIRE, 2004; DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; RIBEIRO et al., 2010). As principais famílias de compostos químicos encontrados no café cru e responsáveis pelos voláteis no café torrado são trigonelina, ácidos clorogênicos, carboidratos, sacarose, lipídeos e proteínas (RIBEIRO et al., 2009).

Os mecanismos de formação do aroma de café são extremamente complexos e há claramente uma ampla gama de interações entre todas as rotas envolvidas (BUFFO; CARDELLI-FREIRE, 2004). As principais reações para o desenvolvimento dos compostos voláteis do café são descritas a seguir.

Reação de Maillard ou escurecimento não enzimático: reação do nitrogênio contido nas proteínas, lipídeos, aminoácidos, serotonina, trigonelina e carboidratos redutores, fenóis e outros, para formar aminoaldoses por condensação.

Degradação de Strecker: reação entre um aminoácido e um α -dicarbonil, com a formação de um aminocetona que condensa para formar compostos heterocíclicos nitrogenados ou reagir com formaldeído para formar oxazóis.

Degradação de aminoácidos sulfurados: cistina e cisteína e metionina, que são transformadas em mercaptanos, bem como thiophenes e thiazoles, após reagir com açúcares redutores ou produtos intermediários da reação Maillard.

Degradação de proteínas e aminoácidos livres: como, por exemplo, a serina e a treonina, que são capazes de reagir com sacarose para formar, principalmente, alquilpirazinas.

Degradação de prolina e hidroxiprolina: que reagem com os produtos intermediários da reação de Maillard originando piridinas, pirróis e pirrolisina que forma a alquil-, acil- e furfúrilpirróis.

Degradação de trigonelina: formando alquilpiridinas e pirróis.

Degradação de ácido quínico: formando fenóis.

Degradação de pigmentos: principalmente carotenoides.

Degradação de lipídeos: principalmente diterpenos.

Buffo e Cardelli-Freire (2004) também relataram interações entre produtos de decomposição intermediária das reações que ocorrem durante o processo de torração e que são pouco conhecidas.

Os compostos heterocíclicos são amplamente avaliados no perfil volátil do café torrado pelo fato de esse grupo ser composto por substâncias de alto

impacto odorífero. Essa classe é composta pelos furanos, pirazinas, pirróis, piridinas, tiofenos, oxazóis e tiazóis (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999).

Os furanos são compostos heterocíclicos presentes em grande quantidade no café torrado e provenientes, principalmente, da degradação de carboidratos. Esses compostos incluem funções como aldeídos, cetonas, ésteres, álcoois, éteres, ácidos e tióis (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999). Mais de 140 compostos furânicos já foram identificados, dos quais dez são considerados marcantes para o aroma do café (AKIYAMA et al., 2005; CZERNY; MAYER; GROSCH, 1999; SANZ et al., 2002; TOCI; FARAH, 2014). Os furanos mais encontrados na bebida do café são furan, 2-furfural, furfuryl alcohol, 5-methylfurfural e furfuryl acetate (ALTAKI; SANTOS; GALCERAN, 2007; LÓPEZ-GALILEA et al., 2006; PETISCA et al., 2014). O aroma produzido por esses compostos poderá apresentar um aspecto positivo ou negativo na avaliação sensorial do café, dependendo da concentração deles no café torrado (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; FLAMENT, 2002).

As pirazinas são, junto com os furanos, a mais importante classe química relacionada ao aroma do café torrado e destacam-se por serem os compostos de maior impacto odorífero. Esses compostos voláteis são característicos de alimentos submetidos a tratamento térmico, com exceção das metoxi-pirazinas, que são encontradas, geralmente, nos vegetais não processados (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999). As pirazinas são produzidas por meio de pirólise de ácidos hidroxâmico e aproximadamente 100 já foram identificadas no café. Entretanto, apenas treze são consideradas marcantes para o seu aroma (AKIYAMA et al., 2005; CZERNY; MAYER; GROSCH, 1999; SANZ et al., 2002; TOCI; FARAH, 2014).

Os pirróis são originados por diferentes processos, como reação de Maillard, caramelização, pirólise e degradação de trigonelina (BALTES; BOCHMANN, 1987) e aproximadamente oitenta compostos já foram

identificados no café. Os pirróis são considerados os compostos menos associados ao aroma do café, entretanto, alguns deles são conhecidos por serem responsáveis por um característico aroma doce e levemente queimado. O N-furil-2metil-pirrol e o N-etil-2-formil-pirrol são considerados compostos de grande impacto para o café torrado e relacionados ao aroma de café velho e café torrado, respectivamente (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; FLAMENT, 2002).

As piridinas são formadas, principalmente, por meio de pirólise da trigonelina, havendo poucas evidências a respeito de sua contribuição para o aroma do café torrado. Na literatura são citadas apenas 27 piridinas, sendo as mesmas responsáveis por notas de amargor, adstringência, torrado e queimado (FLAMENT, 2002). A 2-methylpyridine é responsável por uma sensação adstringente semelhante à de avelã e a 2,3-dimetil-piridina apresenta um odor semelhante ao de borracha e madeira queimada. As piridinas encontradas no aroma do café têm recebido pouca atenção dos pesquisadores, existindo, portanto, poucas informações disponíveis a respeito da contribuição das piridinas para o aroma final do café torrado (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999).

Os tiofenos são originados da degradação de aminoácidos sulfurados, como a pirólise da cisteína, que sofre degradação individual durante a torrefação e interage com açúcares redutores e intermediários da reação de Maillard, resultando em uma ampla variedade de compostos voláteis sulfurados. Embora esses compostos voláteis tenham grande relevância para o café torrado, eles estão presentes em baixíssimas concentrações, o que dificulta a avaliação de suas propriedades sensoriais. O 3-metil-2-acetil-tiofeno apresenta um aroma semelhante ao de café, sendo considerado um dos possíveis compostos voláteis de impacto para o aroma do café torrado (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999).

Os oxazóis são formados exclusivamente por meio de tratamento térmico, mas o mecanismo de formação desses compostos ainda não foi elucidado. Esses compostos apresentam aroma doce, semelhante ao de nozes (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; HWANG; HARTMAN; HO, 1995).

Os tiazóis são originados da reação de Maillard entre metionina, cisteína ou cistina (aminoácidos sulfurados) e açúcares redutores ou intermediários desta reação. Esses compostos têm um odor semelhante ao de vegetais, carne, matéria torrada e nozes (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999).

Entre os compostos classificados como alifáticos, alicíclicos e aromáticos que normalmente são encontrados em baixas concentrações, destacam-se fenóis, aldeídos, cetonas, álcoois, éteres, lactonas, aminas e compostos sulfurados.

Os fenóis são compostos aromáticos originados, principalmente, da degradação dos ácidos clorogênicos (cafeico, ferúlico, p-cumárico e ácido quínico) durante o processo de torração do café (MOON; SHIBAMOTO, 2010). A sua importante contribuição odorífera é associada a características negativas, como fumaça, madeira, tempero, couro ou medicamento. No entanto, em baixas concentrações, são descritos como doce, floral, baunilha, especiarias e cravo (FLAMENT, 2002). Entre os 80 compostos fenólicos descritos na literatura, 4-vinil-guaiacol, guaiacol, fenol e os isômeros do cresol (*o*-, *m*-, *p*-) são conhecidos como os fenóis majoritários do café torrado. A variedade e a concentração dos compostos fenólicos voláteis no café torrado variam de acordo com o grau de torração e maiores quantidades, tanto com relação à variedade quanto à concentração, são detectadas em cafés submetidos à torrefação escura (MOREIRA et al., 2000).

Os aldeídos são formados pela degradação oxidativa de aminoácidos durante sua reação com açúcares a altas temperaturas, e, por meio da reação entre aminoácidos e polifenóis, na presença da enzima polifenol oxidase, em

temperaturas normais (FLAMENT, 2002). Altas concentrações de aldeídos têm sido verificadas no café torrado, sendo os compostos acetaldeyde, hexanal, 2-methylprpanal, 2-methylbutanal, 2-nonenal e benzeneacetaldeyde, considerados importantes para o aroma do café torrado (FLAMENT, 2002). As caraterísticas sensoriais dos aldeídos dependem também da sua massa molecular; aldeídos de cadeia curta, geralmente, apresentam aromas acres e pungentes, sendo indesejáveis em altas concentrações, enquanto os aldeídos de cadeia longa apresentam aromas agradáveis de flores e frutas (MOREIRA et al., 2000).

As cetonas são formadas, principalmente, por pirólise de carboidratos e podem contribuir positivamente ou negativamente para o aroma do café. Entre as 91 cetonas descritas na literatura, quatro são conhecidas como marcantes para o aroma do café; 2,3 butanedione, 2,3 pentanedione, 3-methyl-2-hydroxy-2-cyclopeenten-1-one e β -damascenona são conhecidas como importantes para o aroma do café (FLAMENT, 2002; TOCI; FARAH, 2014). A β -damascenona apresenta aroma de chá de fruta e está entre as substâncias que apresentaram os maiores valores de odor ativo nas bebidas produzidas a partir dos cafés arábica e robusta torrados (CLARKE; MACRAE, 1985).

Os álcoois são alguns dos produtos secundários da degradação oxidativa de lipídios no café torrado e sua síntese pode ocorrer por meio da quebra de carotenoides durante o processo de torração. Os únicos álcoois classificados como potentes odorantes do café torrado são o linalool, conhecido como aroma floral, verde, amadeirado e bergamota e o 2-phenylethanol, que apresenta aromas de mel, florais e amadeiradas (FLAMENT, 2002).

Os ésteres estão presentes em baixas concentrações no perfil volátil do café torrado, sendo poucas as informações a respeito desses compostos (TOCI; FARAH, 2014). Entre os 55 ésteres citados na literatura, somentebutanoic acid, 2-methyl-ethyl ester, butanoic acid, 3-methyl-ethyl ester e cyclohexanecarboxylic acid, ethyl ester contribuem para o aroma *off-flavor* do café (FLAMENT, 2002).

Os ácidos carboxílicos podem apresentar odores distintos, responsáveis pelos aromas agradáveis, como queijo, creme e chocolate ou proporcionar aromas desagradáveis, como o de vinagre. São sugeridas diversas vias para a formação desses constituintes, como degradação de lipídios, degradação térmica de ésteres e a auto-oxidação de aldeídos e cetonas (FLAMENT, 2002). Os principais ácidos carboxílicos voláteis identificados no café torrado são o acético, o fórmico e o propanoico (MOREIRA et al., 2000). Os anidridos são formados durante a torração a partir de ácidos carboxílicos ou derivados que perdem uma molécula de água e, a seguir, sofrem ciclização (FLAMENT, 2002).

Os éteres voláteis estão presentes em pequenas quantidades no café torrado. Dentre esses compostos já foram identificados no café o metóxi-etano, o 2-metóxi-2-metil-propano e o éter difurfurílico (MOREIRA et al., 2000; WANG; SHANFIELD; ZLATKIS, 1983). O éter difurfurílico destaca-se por estar presente em concentração mais elevada do que os demais. A classe de éteres majoritária na fração volátil do café torrado é composta pelo tio éteres (CLARKE, 1990).

As γ -lactonas alifáticas saturadas e insaturadas são amplamente distribuídas em alimentos e bebidas e conferem uma ampla variedade de aromas. Entre as γ -lactonas, a butano-4-lactone e a decano-4-lactone são principalmente encontradas no café cru e apresentam aromas amanteigados, frutados. As α , β -insaturadas γ -lactonas apresentam aromas descritos como torrado e especiarias (FLAMENT, 2002).

As aminas são associadas a produtos de deterioração indesejáveis no café (FLAMENT, 2002). A dimetilametilamina é uma das aminas majoritárias encontradas no café torrado (MOREIRA et al., 2000).

Os hidrocarbonetos (alcanos e alcenos), produzidos durante o processo de torração, têm um odor típico que pode contribuir para o aroma dos alimentos.

No entanto, seu poder odorante no café se restringe aos compostos voláteis alifáticos, tais como pentadine, isoprene, 5-methyl-1,3-cyclohexadiene e terpenos (FLAMENT, 2002).

Os compostos sulfurados são considerados de grande importância para o café torrado e apresentam aromas potentes e característicos, dominando o aroma final do produto. Contudo, esses compostos estão presentes em baixíssimas concentrações no café torrado, dificultando seu estudo quantitativo e a avaliação de suas propriedades sensoriais. Para a identificação e a quantificação dos compostos voláteis contendo enxofre, são necessários métodos analíticos altamente sensíveis (MOREIRA et al., 2000).

REFERÊNCIAS

- AGRESTI, P. D. C. M. et al. Discrimination between defective and non-defective Brazilian coffee beans by their volatile profile. **Food Chemistry**, Washington, v. 106, n. 2, p. 787-796, 2008.
- AKIYAMA, M. et al. Characterization of flavor compounds released during grinding of roasted robusta coffee beans. **Food Science and Technology Research**, Switzerland, v. 11, n. 3, p. 298-307, 2005.
- ALONSO-SALCES, R. M. et al. Botanical and geographical characterization of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*): chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, p. 4224-4235, 2009.
- ALTAKI, M.; SANTOS, F.; GALCERAN, T. Analysis of furan in foods by headspace solid-phase microextraction – gas chromatography–ion trap mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1146, p. 103-109, 2007.
- AMORIM, A. C. L. et al. Green and roasted arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 313-321, 2009.
- ARRUDA, N. P. et al. Correlação entre precursores e voláteis em café arábica brasileiro processado pelas vias seca, semiúmida e úmida e discriminação através da análise por componentes principais. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, p. 2044-2051, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Guia da qualidade dos cafés do Brasil – safra 2009**. Rio de Janeiro, 2009. 111 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#1910>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise sensorial dos alimentos e bebidas: terminologia**. Rio de Janeiro, 1993. 8 p.

BALTES, W.; BOCHMANN, G. Model reactions on roast aroma formation: V: mass spectrometric identification of pyridines, oxazoles, and carbocyclic compounds from the reaction of serine and threonine with sucrose under the conditions of coffee roasting. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung**, Berlin, v. 185, n. 1, p. 5-9, 1987.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 04, n. 05, p. 181-190, Jan. 2012.

BÁRTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BERTRAND, B. et al. Comparison of the effectiveness of fatty acids, chlorogenic acids, and elements for the chemometric discrimination of coffee (*Coffea arabica* L.) varieties and growing origins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 6, p. 2273-2280, 2008.

BICCHI, C. P. et al. Characterization of green and roasted coffees through the chlorogenic acid fraction by HPLC-UV and principal component analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 6, p. 1549-1555, June 1995.

BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

BOTTAZZI, D. et al. A numerical approach for the analysis of the coffee roasting process. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 112, n. 3, p. 243-252, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial[da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Saiba Mais**. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Café**: BSCA apresenta novo mapa das origens produtoras do Brasil. 2014. Disponível em: <<http://bsca.com.br/noticia.php?id=242>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **O que são cafés especiais**. 2015. Disponível em: <<http://bsca.com.br/cafes-especiais.php>>. Acesso em: 11 jul. 2015.

BUFFO, R. A.; CARDELLI-FREIRE, C. Coffee flavour: an overview. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v. 19, p. 99-104, 2004.

CARVALHO, L. G. et al. Clima. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Zoneamento econômico ecológico de estado de Minas Gerais**: componente geofísico e biótico. Lavras: UFLA, 2008. p. 89-102. ISBN: 9788587692535.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; SOUZA, S. M. C. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.

CASAL, S.; OLIVEIRA, B.; FERREIRA, M. A. HPLC/diode-array applied to thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. **Food Chemistry**, London, v. 68, n. 4, p. 481-485, Mar. 2000.

CASTOLDI, G.; CASTOLDI, G. Pré-processamento e secagem do café. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 03, n. 02, p. 175-193, jul. 2013.

CLARKE, R. J. Ital. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 2, p. 79, 1990.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee: chemistry**. New York: Elsevier, 1985. v. 1.

CLIFFORD, M. N. Chlorogenic acids and other cinnamates - nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, p. 1033-1043, 2000.

CLIFFORD, M. N. Review - chlorogenic acids and other cinnamates nature - occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 79, p. 362-372, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. 2015a. Disponível em:
<<http://www.cecafe.com.br/Menu/noticias/Safracafe%202015%20%2815-16%29%20-%201%BA%20Levantamento%20-%20JAN-15.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. 2015b. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_10_09_24_57_boletim_cafe_junho_2015.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2015.

CZERNY, M.; MAYER, F.; GROSCH, W. Sensory study on the character impact odorants of roasted Arabica coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, p. 695-699, 1999.

DECAZY, F. et al. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 7, p. 2356-2361, July 2003.

DELLA LUCIA, S. M.; MININ, V. P. R. M.; CARNEIRO, J. D. S. Análise sensorial de alimentos. In: MININ, V. P. R. (Ed.). **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 225 p.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C. Componentes voláteis do café torrado: parte I: compostos heterocíclicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 209-217, mar./abr. 1999.

DUARTE, G. S.; PEREIRA, A. A.; FARAH, A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 851-855, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Consórcio Pesquisa Café intensifica transferência de tecnologia no estado de Minas Gerais**. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2229076/consorcio-pesquisa-cafe-intensifica-transferencia-de-tecnologia-no-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

FARAH, A.; DONANGELO, C. M. Phenolic compounds in coffee. **Journal Plant Physiology**, Jena, v. 18, n. 1, p. 23-36, 2006.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FARAH, A. et al. Formation of chlorogenic acids lactones in roasted coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, p. 1105-1113, 2005.

FERIA-MORALES, A. M. Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/experts tasters in sensory evaluation for quality control. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 13, n. 6, p. 355-367, Sept. 2002.

FIGUEIREDO, L. P. **Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de bourbon em diferentes ambientes**. 2013. 127 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FIGUEIREDO, L. P. et al. The potential for high quality Bourbon coffees from different environments. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 5, n. 10, p. 87-98, 2013.

FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. Chichester: J. Wiley, 2002. 424 p.

FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. West Sussex: J. Wiley, 2001.

FRANÇA, A. S. et al. Evolução da composição do extrato aquoso de café durante o processo de torrefação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 2, p. 37-47, 2001.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1983. (Série Publicações técnicas, 10). ISSN-0100-9540.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 7-16, 2011.

GONZALÉZ-RIOS, O. et al. Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: II. roasted coffee. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, n. 3, p. 297-307, May 2007.

HWANG, H.; HARTMAN, T. G.; HO, C-T. Relative reactivities of amino acids in the formation of pyridines, pyrroles and oxazoles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 11, p. 2917-2921, Nov. 1995.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Indicação geográfica no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/indicacao-geografica/indicacao-geografica-no-brasil>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

JOËT, T. et al. Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 693-701, 2010.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. D. S.; BENASSI, M. D. T. Bioactive compounds content in roasted coffee from traditional and modern *Coffea arabica* cultivars grown under the same edapho-climatic conditions. **Food Research International**, Barking, v. 61, p. 61-66, 2014.

KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food Chemistry**, London, v. 119, p. 500-504, June 2010.

LICCIARDI, R. et al. Avaliação físico-química de cafés torrados e moídos, de diferentes marcas comerciais, da região sul de Minas Gerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 425-429, 2005.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee flavor. 3th ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2001. 47 p.

LIU, Y.; KITTS, D. D. Confirmation that the Maillard reaction is the principle contributor to the antioxidant capacity of coffee brews. **Food Research International**, Barking, v. 44, p. 2418-2424, 2011.

LÓPEZ-GALILEA, I. et al. Changes in headspace volatile concentrations of coffee brews caused by the roasting process and the brewing procedure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, p. 8560-8566, 2006.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. M. Processamento e qualidade do café produzido na região do cerrado mineiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2010.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 05, p. 431-440, set./out. 2013.

MATOS, A. T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: UFV/DFP, 2003. p. 647-708.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea* L.) by interspecific hybridization. **Euphytica**, Wageningen, v. 59, p. 55-60, Jan. 1992.

MELO, W. L. B. **A importância da informação sobre o grau de torra do café e suas características organolépticas da bebida**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 4 p. (Comunicado técnico).

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Agropecuária. Portaria n. 165, de 27 de abril de 1995. Delimita regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais para a instituição do certificado de origem. Belo Horizonte, 1995. Disponível em: <<http://www.ima.mg.gov.br/certificacao/cafe/1491-legislacao-certificacao-cafe>>. Acesso em: 23 jul. 2015.

MONTAVON, P.; MAURON, A. F.; DURUZ, E. Changes in green coffee protein profiles during roasting. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v. 51, p. 2335-2343, 2003.

MONTEIRO, M. C.; TRUGO, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, p. 637-641, 2005.

MOON, J. K.; SHIBAMOTO, T. Formation of volatile chemicals from thermal degradation of less volatile coffee components: quinic acid, caffeic acid, and chlorogenic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, p. 5465-5470, Apr. 2010.

MORAIS, S. A. et al. Análise de compostos bioativos, grupos ácidos e da atividade antioxidante do café arábica (*Coffea arabica*) do cerrado e de seus grãos defeituosos (PVA) submetidos a diferentes torras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 198-207, dez. 2008.

MOREIRA, R. F. A. et al. Componentes voláteis do café torrado: parte II: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 195-203, maio/jun. 2000.

MOURA, S. C. S. R. et al. Influência dos parâmetros de torração nas características físicas, químicas e sensoriais do café arábica puro. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 17-25, 2007.

MURKOVIC, M.; DERLER, K. Analysis of amino acids and carbohydrates in green coffee. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, Amsterdam, v. 69, p. 25-32, 2006.

NIJSSEN, L. M. et al. **Volatile compounds in food**: qualitative and quantitative data. 7th ed. Zeist, The Netherlands: TNO Nutrition and Food Research Institute, 1996.

NOGUEIRA, M.; TRUGO, L. C. Distribuição de isômeros de ácido clorogênicos e teores de cafeína e trigonelina em cafés solúveis brasileiros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 269-299, 2003.

NOVAES, F. J. M. et al. New approaches on the analyses of thermolabile coffee diterpenes by gas chromatography and its relationship with cup quality. **Talanta**, Londres, v. 139, p. 159-166, 2015.

OLIVEIRA, G. H. H. de et al. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1813-1827, 2014.

OOSTERVELD, A.; VORAGEN, A. G. J.; SCHOLS, H. A. Effect of roasting on the carbohydrate composition of *Coffea arabica* beans. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 54, p. 183-192, 2003.

PAIVA, E. F. F. **Análise sensorial dos cafés especiais do Estado de Minas Gerais**. 2005. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

PEREIRA, R. G. F. A.; VILELLA, T. C.; ANDRADE, E. T. Composição química de grãos de café (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes tipos de pré-processamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2002, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2002. p. 826-831.

PETISCA, C. et al. Optimization and application of a HS-SPME-GC-MS methodology for quantification of furanic compounds in espresso coffee. **Food Analytical Methods**, New York, v. 7, n. 1, p. 81-88, 2014.

PETRACCO, M. Our everyday cup of coffee: the chemistry behind its magic. **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 82, p. 1161-1167, 2005.

PICCINO, S. et al. Aromatic composition and potent odorants of the “specialty coffee” brew “Bourbon Pointu” correlated to its three trade classifications. **Food Research International**, Amsterdam, v. 61, p. 264-271, July 2013.

RIBEIRO, J. S. et al. Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 364, p.172-179, Dec. 2009.

RIBEIRO, J. S. et al. Uso de perfis cromatográficos de voláteis de cafés arábicas torrados para a diferenciação das amostras segundo o sabor, o aroma e a qualidade global da bebida. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 9, p. 1897-1904, 2010.

RIOS, J. N. G. Certificado de origem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, p. 69-72, 1997. ISBN: 01003364.

RODARTE, M. P. **Análise sensorial, química e perfil de constituintes voláteis de cafés especiais**. 2008. 147 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

RODRIGUES, N. P.; BRAGAGNOLO, N. Identification and quantification of bioactive compounds in coffee brews by HPLC-DAD-MSn. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 32, n. 2, p. 105-115, 2013.

SAES, A. M. Do vinho ao café: aspectos sobre a política de diferenciação. **Informações Econômicas**, Piracicaba, v. 36, n. 2, p. 7-19, fev. 2006.

SAES, M. S. M.; NAKAZONE, D. O agronegócio café do Brasil no mercado internacional. **Revista Fae Business**, Curitiba, n. 9, p. 40-42, set. 2004.

SANZ, C. et al. Comparison of potent odorants in a filtered coffee brew and in an instant coffee beverage by aroma extract dilution analysis (AEDA). **European Food Research and Technology**, New York, v. 214, p. 299-302, 2002.

SILVA, E. A. et al. The influence of water management and environmental conditions on the chemical composition and beverage quality of coffee beans. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v.17, p. 229-238, 2005.

SMITH, A. W. Agricultural practices. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee chemistry**. Amsterdam: Elsevier Applied Science, 1985. p. 18-23.

SOMPORN, C. et al. Effects of roasting degree on radical scavenging activity, phenolics and volatile compounds of Arabica coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor). **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, n. 11, p. 2287-2296, 2011.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Protocolo para análise sensorial do café**. 2008. Disponível em: <<http://www.scaa.org>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **SCAA Protocols - cupping specialty coffee**. 2014. Disponível em: <<https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Specialty coffee facts & figures**. 2012. Disponível em: <<http://www.scaa.org/PDF/resources/factsand-figures.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. The lipid fraction of the coffee bean Brazilian. **Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 01, p. 201-216, 2006.

STEGEN, V. G. H. D. Enhancement of coffee quality by mould prevention. **Food Control**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 245-249, 2003.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Post-harvest effects on beverage quality and physiological performance of coffee beans. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 10, n. 12, p. 1457-1466, 2015.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Potential markers of coffee genotypes grown in different Brazilian regions: a metabolomics approach. **Food Research International**, Barking, v. 61, p. 75-82, 2014.

TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 64, n. 366, p. 12-21, jan./fev. 2009.

TOCI, A. T.; FARAH, A. Volatile compounds as potential defective coffee seeds' markers. **Food Chemistry**, London, v. 108, p. 1133-1141, 2008.

TOCI, A. T.; FARAH, A. Volatile fingerprint of Brazilian defective coffee seeds: corroboration of potential marker compounds and identification of new low quality indicators. **Food Chemistry**, London, v. 153, p. 298-314, 2014.

TRUGO, L. C.; MACRAE, R. A study of the effect of roasting on the chlorogenic acid composition of coffee using HPLC. **Food Chemistry**, London, v. 15, n. 3, p. 219-227, 1984.

VILAS-BOAS, B. M. et al. Seleção de extratores e tempo de extração para determinação de açúcares em café torrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1169-1173, set./out. 2001.

VILELLA, T. C. et al. Composição química de grãos de café natural, despulpado, desmucilado e descascado: II: torração média. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFEEIRA DO SUL DE MINAS, 3., 2002, Lavras. **Trabalhos apresentados...** Lavras: UFLA, 2002. p. 43-48.

WANG, T. H.; SHANFIELD, H.; ZLATKIS, A. Analysis of trace volatile organic compounds in coffee by headspace concentration and gas chromatography-mass spectrometry. **Chromatographia**, New York, n. 17, p. 411, 1983.

CAPÍTULO 2

Análise sensorial e composição química de cafés especiais das diferentes regiões do estado de Minas Gerais

RESUMO

Diante da expressiva demanda do mercado por cafés especiais, associada ao potencial do estado de Minas Gerais para a produção de cafés diferenciados e de diferentes tipos de processamentos, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar como as interações entre processamentos e regiões afetam a qualidade dos cafés, bem como relacionar a composição química (acidez titulável, pH, cinzas, sólidos solúveis, açúcares totais, trigonelina, cafeína, ácido 5-cafeoilquínico (5-ACQ), ácido tridecanoico, ácido pentadecanoico, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico, ácido linoleico, α -linolênico, ácido eicosanoico e ácido heneicosanoico) com sua qualidade sensorial. Foram avaliadas duas amostras de cafés provenientes de cada região produtora do estado de Minas Gerais (Sul de Minas, Matas de Minas, Cerrado Mineiro e Chapadas de Minas) oriundas dos processamentos via seca (natural) e via úmida (cereja descascado), totalizando 8 amostras. As amostras de cafés especiais apresentaram diferenças significativas em todas as variáveis analisadas, exceto para os atributos sensoriais das regiões do Sul de Minas, Matas de Minas e Cerrado Mineiro. Os cafés da região das Chapadas de Minas apresentaram as menores notas sensoriais em todos os atributos, inclusive na nota sensorial final. O tipo de processamento influenciou significativamente o conteúdo da maioria das variáveis analisadas. O conteúdo de cinzas permitiu a discriminação dos cafés com maiores e menores notas sensoriais. As variáveis cafeína e doçura influenciaram a discriminação dos cafés das Chapadas de Minas, independente do tipo de processamento, com maior e menor intensidade, respectivamente. As maiores concentrações dos ácidos eicosanoico e heneicosanoico foram relacionadas aos cafés de maiores notas sensoriais e contribuíram para a discriminação dos mesmos em relação aos cafés com menores notas sensoriais.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Processamentos. Perfil sensorial. Escalonamento multidimensional.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por cafés especiais apresenta crescimento expressivo, tanto no mercado nacional quanto no internacional, devido aos seus excepcionais atributos do *flavor* e aroma, bem como balanceadas características de doçura, acidez e corpo (BARBOSA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2009). A qualidade do café é avaliada por meio de critérios físicos, como tamanho dos grãos, cor, forma e número de defeitos, presença de matérias estranhas e análise sensorial da bebida (BEE et al., 2005; NEBESNY; BUDRYN, 2006; TOCI; FARAH, 2008; TOCI; FARAH, 2014).

O *flavor* do café, formado durante o processo de torração, é afetado pela presença de diferentes constituintes químicos voláteis e não voláteis, como proteínas, aminoácidos, ácidos graxos e compostos fenólicos. Outros fatores, como processamento pós-colheita e condições edafoclimáticas, também podem contribuir para a sua qualidade (AVELINO et al., 2002; AVELINO et al., 2005; DECAZY et al., 2003; RODRIGUES et al., 2009).

Os cafés cultivados no estado de Minas Gerais têm sido alvo de pesquisas com relação à influência dos teores de compostos químicos no perfil sensorial da bebida, pois o mesmo apresenta um grande potencial para a produção de cafés de qualidade com diversidade de *flavor* e aroma, devido à sua dimensão territorial e grande variedade ambiental (BARBOSA et al., 2012).

Em diversos trabalhos a variabilidade no conteúdo de constituintes químicos, como trigonelina, cafeína, ácidos clorogênicos e ácidos graxos no café cru, foi associada às diferentes regiões geográficas em que os cafés foram cultivados. O objetivo destas pesquisas foi verificar a possibilidade de discriminação de espécies, avaliação do grau de torração e propriedades funcionais do café (BICCHI et al., 1995; CASAL; OLIVEIRA; FERREIRA, 2000; JOËT et al., 2010; MAZZAFERA; CARVALHO, 1992). Entretanto, na

literatura científica consultada, são escassos trabalhos de investigação de correlação entre constituição química de cafés especiais torrados com a qualidade da bebida, principalmente de cafés especiais produzidos em diferentes regiões do estado de Minas Gerais.

Assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar amostras de cafés provenientes das quatro regiões do estado de Minas Gerais (Sul de Minas, Matas de Minas, Cerrado Mineiro e Chapadas de Minas), e dos processamentos via seca e via úmida, bem como relacionar a composição química do café torrado à qualidade sensorial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima e instalações

Foram utilizadas, neste experimento, oito amostras de cafés especiais (*Coffea arabica* L.) da safra 2013, obtidas pelos processamentos via seca: amostras Sul de Minas (SM_NAT), Matas de Minas (MA_NAT), Cerrado Mineiro (CER_NAT) e Chapadas de Minas (CHA_NAT), e via úmida: amostras Sul de Minas (SM_CD), Matas de Minas (MA_CD), Cerrado Mineiro (CER_CD) e Chapadas de Minas (CHA_CD). As amostras utilizadas são provenientes do X Concurso de Qualidade de Cafés Especiais do Estado de Minas Gerais realizado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER) e selecionadas de um total de 1.213, das quais 870 eram provenientes do processamento via seca (natural) e 343 do processamento via úmida (cereja descascado).

Inicialmente, todas as amostras foram classificadas por tipo, peneira e umidade, selecionando-se apenas as que apresentaram tipo 2 para melhor, peneira 16 acima, com vazamento máximo de 5% e umidade máxima de 11,5%. As amostras utilizadas neste trabalho foram as que obtiveram notas iguais ou acima de 80 pontos na análise sensorial. Todas as análises foram realizadas no Pólo de Tecnologia em Qualidade do Café/INOVACAFÉ da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.2 Preparo da amostra

As amostras de café cru foram submetidas à torração média em equipamento Probat BRZ-6, com capacidade para 150 g, segundo o protocolo da SCAA para cafés especiais.

2.3 Preparo para a degustação

As amostras foram moídas antes da degustação, na granulometria de 20mesh. Foram preparadas, no mínimo, 5 xícaras de cada amostra para adegustação, para avaliar a uniformidade, respeitando-se a proporção de 8,25 g por 150 mL de água ou 5,5% m/v. A avaliação foi realizada por 13 provadores credenciados pela BSCA, que receberam todas as amostras codificadas.

2.4 Análise sensorial

A metodologia utilizada foi a do Cup of Excellence (CoE) de 1997, na qual cada atributo recebeu nota de acordo com a intensidade. As amostras receberam notas de 0 a 8 para cada atributo sensorial, em uma escala de pontos. Para a degustação, foi utilizada água mineral, a 93°C. Depois da adição da água, as amostras foram avaliadas com relação ao aroma. A crosta foi mantida sem se quebrar por, no mínimo, 3 minutos e não mais que 5 minutos. A ruptura da crosta foi realizada por leves movimentos circulatorios e o aroma novamente analisado. A seguir, aguardou-se que ocorresse a sedimentação dos sólidos em suspensão e o resfriamento da amostra a 70°C, para dar início à degustação. Os degustadores avaliaram o aroma em três partes: pó seco, crosta e infusão, e anotaram os descritores sensoriais que foram encontrados em cada amostra. À temperatura de 70°C, a bebida foi avaliada por sucção, cobrindo-se a maior área possível da cavidade bucal. Nessa temperatura, os vapores convergem na sua intensidade máxima na área retronasal. Os atributos avaliados foram bebida limpa, doçura, acidez, corpo, sabor, gosto remanescente, balanço e nota geral (BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION – BSCA, 2008).

2.5 Caracterização das amostras

A caracterização dos grãos de café torrados foi realizada por meio das análises de umidade, cinzas, sólidos solúveis, acidez titulável, pH e açúcares totais.

2.6 Umidade

Para análise da umidade dos cafés foi utilizada a técnica gravimétrica com emprego de calor, baseando-se na determinação da perda de peso do produto submetido ao aquecimento em estufa (105°C) até peso constante e expresso em porcentagem (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS – AOAC, 2000).

2.7 Acidez titulável

A partir do filtrado obtido por agitação de 2 g de amostra em 50 mL de água, a acidez foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N, de acordo com a técnica descrita pela AOAC (1990). Os resultados foram expressos em mL de NaOH 0,1 N por 100 g de amostra.

2.8 pH

O pH das amostras foi medido em peagâmetro digital PG 100 (Gehaka).

2.9 Sólidos solúveis

Determinaram-se os sólidos solúveis por meio de refratômetro portátil, conforme as normas da AOAC (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem.

2.10 Cinzas

As cinzas foram determinadas por método gravimétrico, com aquecimento aos 550 °C em mufla e, posteriormente, utilizando-se balança analítica (AOAC, 1990). Os resultados foram expressos em porcentagem.

2.11 Açúcares totais

Os açúcares totais e redutores foram extraídos pelo método de Lane-Ennyon, descrito pela AOAC (2000), e determinados pela técnica de Somogy. Os valores foram expressos em porcentagem.

2.12 Determinação dos teores de cafeína, ácido clorogênico e trigonelina

A determinação de cafeína, ácido clorogênico e trigonelina foi feita por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), em que foram utilizados procedimentos de extração com metanol 70%, segundo metodologia adaptada de Vitorino et al. (2001).

Amostras de 0,1g de café torrado e moído foram extraídas em 50 mL de metanol 70%. O extrato foi filtrado em membrana de 0,45µm.

A determinação desses compostos foi realizada por cromatógrafo da marca Shimadzu (modelo M10AVP, Japão), com coluna de fase reversa C-18 Shimadzu (100 mm x 0,3 mm).

O sistema se encontrava acoplado a um detector espectrofotométrico UV/visível Shimadzu (modelo SPD-10A) conectado por uma interface (CBM-101) a um microcomputador para processamento de dados. As condições de análise foram fluxo de 1 mL/min; fase móvel: metanol, água e ácido acético (30:69,5:0,5) em temperatura ambiente e comprimento de onda 272 nm. A concentração dos compostos foi determinada pela relação entre as áreas dos picos de cafeína, ácido clorogênico e trigonelina das amostras e dos respectivos padrões de concentrações conhecidas.

2.13 Ácidos graxos

2.13.1 Extração

Os ácidos graxos foram extraídos das amostras de acordo com Folch, Lees e Stanley (1957). Para tanto, homogeneizaram-se 5 g de café torrado e moído com 50 mL de solução clorofórmio/metanol (2:1) e adicionou-se butil-hidroxitolueno ($0,025\text{g.L}^{-1}$) por, aproximadamente, 3 minutos, em politron na velocidade média.

Após homogeneização, procedeu-se à filtração da amostra utilizando-se filtros semiquantitativos (de filtração rápida), transferindo-se o filtrado ao funil de separação (500 mL), ao qual foram acrescentados 10 mL de solução de cloreto de potássio (KCl 0,72%). Após agitação manual, a solução permaneceu em repouso por 3 horas. Após o repouso, observou-se a formação de duas fases com diferentes polaridades (polar e apolar). A parte polar foi descartada do funil de separação, restando apenas a parte apolar. À parte remanescente foram

acrescentados 6 mL de solução de cloreto de potássio (KCl 0,72%), permanecendo 12 horas em repouso. Após esse período, novamente foi descartada a parte polar, recolhendo-se a parte apolar em balão volumétrico de 50mL, completando-se o volume com clorofórmio.

Para a esterificação, 5 mL da solução obtida ao final das etapas anteriormente descritas foram transferidos ao tubo de centrifuga falcon. Logo em seguida, o clorofórmio foi evaporado em banho-maria (45 °C-55 °C) com nitrogênio gasoso. Foram adicionados 4 mL de NaOH 0,5M em metanol, levando-se, na sequência, a amostra ao banho fervente por 5 minutos, resfriando-se o material em água gelada. Em seguida, foram adicionados 5 mL de reagente esterificante, o qual foi levado por mais 5 minutos ao banho fervente e novamente resfriado em água gelada. Após resfriamento, foram adicionados 4 mL de NaCl saturado e 5 mL de hexano, deixando-se os sistemas em repouso por 10 minutos. A parte sobrenadante foi recolhida para frasco âmbar, evaporando-se o hexano com nitrogênio gasoso, em banho-maria, a 45 °C-55°C.

2.13.2 Determinação do perfil de ácidos graxos

As análises foram realizadas em cromatógrafo a gás modelo CG – 17 A detector de chama (FID) marca Shimadzu. Para registro e análise dos cromatogramas, o aparelho é acoplado a um microcomputador, utilizando-se o programa GC Solution. Os compostos foram separados e identificados em uma coluna capilar Carbowax (30 m x 0,25 mm).

Para a separação cromatográfica, 1 µL de amostra foi injetado, com auxílio de seringa de 10 µL (Hamilton®), em sistema Split = 5. O gás nitrogênio foi utilizado como carreador com velocidade linear programada para 37,8 cm/s.

As temperaturas do injetor e do detector foram controladas isotermicamente em 220°C e 240°C, respectivamente. A temperatura inicial da

coluna foi de 200°C (mantida por 2 minutos), aumentando em 4°C por minuto até atingir 240°C, totalizando 20 minutos de análise. O fluxo do gás de arraste na coluna foi de 1,0 mL/minuto.

A identificação dos compostos foi realizada por meio do tempo de retenção do padrão correspondente.

2.14 Análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x4, constituídos pelos processamentos (via seca e via úmida) e pelas amostras (Sul de Minas, Matas de Minas, Cerrado Mineiro e Chapadas de Minas). Os resultados dos atributos sensoriais e compostos químicos analisados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando diferenças significativas no teste F foram detectadas, o teste de Scott-Knott foi aplicado, a 5% de significância, utilizando-se o programa SISVAR® (FERREIRA, 2011).

A realização da análise estatística para a discriminação dos cafés especiais foi feita utilizando-se a técnica de escalonamento multidimensional (BORG; GROENEN, 2005), a qual permite representar um conjunto de pontos em um espaço de dimensão menor do que a original, mantendo-se as distâncias entre os pontos nesse espaço tão próximas quanto possível das dissimilaridades originais dos dados. Nesse contexto, para a aplicação do método, obteve-se a matriz de dissimilaridades com um número menor de variáveis, sendo esta representada por $\Delta = [\delta_{ij}]$, em que cada elemento indicou a dissimilaridade entre o i -ésimo e o j -ésimo objeto representado pelos cafés especiais, descritos na Tabela 1

Tabela 1 Descrição dos cafés especiais utilizados no escalonamento multidimensional

Cafés especiais	Descrição
Sul de Minas natural	SM_NAT
Sul de Minas cereja descascado	SM_CD
Matas de Minas natural	MAT_NAT
Matas de Minas cereja descascado	MAT_CD
Cerrado natural	CER_NAT
Cerrado Cereja descascado	CER_CD
Chapadas natural	CHA_NAT
Chapadas Cereja descascado	CHA_CD

O procedimento para a realização da redução de variáveis foi feito considerando-se a distância euclidiana calculada com todas as variáveis e, assim, a matriz resultante foi denotada por $D=[d_{ij}]$. Posteriormente, obteve-se uma matriz de distâncias computada apenas com algumas variáveis selecionadas, sendo esta representada por $\Delta=[\delta_{ij}]$. Para justificar a escolha das variáveis, computaram-se as distâncias entre cada elemento das matrizes D e Δ , isto é, $d_{ij} \approx \delta_{ij}$, sendo desejáveis valores próximos a zero. A adequabilidade desta aproximação foi determinada pela função *Stress* decorrente da convergência do procedimento iterativo descrito em De Leeuw (1988). A representação geométrica multidimensional dos dados foi realizada por meio do escalonamento multidimensional (MDS), utilizando-se o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição bromatológica e qualidade sensorial: efeito das regiões e processamentos

Os valores médios dos atributos sensoriais, da nota sensorial final e da composição bromatológica em relação às regiões, aos processamentos e à interação entre regiões e processamentos são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 Atributos sensoriais de cafés especiais de diferentes regiões e processamento: média e probabilidade de significância (*F*) determinada por análise de variância (ANAVA) de quatro regiões e dois processamentos*

Regiões/Proc.		Sabor	Doçura	Acidez	Corpo	Balanço	Bl	GR	Geral	Final
SM		6,27a	6,35a	6,38a	6,19a	6,19a	6,04a	6,31a	6,19a	86,15a
MM		6,21a	6,48a	6,19a	6,21a	6,29a	6,38a	5,96b	6,19a	85,69a
C		6,48a	6,38a	6,25a	6,11a	6,36a	6,19a	6,35a	6,36a	86,42a
CH		5,27b	5,61b	5,54b	5,65b	5,88b	5,73b	5,61c	5,85b	81,38b
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N		5,97	6,23	6,09	6,04	6,24	6,13	6,10	6,18	85,21
CD		6,14	6,18	6,10	6,05	6,12	6,04	6,02	6,11	84,61
<i>F</i>		0,25	0,65	0,93	0,93	0,25	0,32	0,50	0,50	0,29
SM	x N	6,38	6,54	6,38	6,15	6,31	6,08	6,31	6,23	86,85
	x CD	6,15	6,15	6,38	6,23	6,08	6,00	6,31	6,15	85,46
<i>F</i>		0,44	0,72	1,00	0,74	0,25	0,69	1,00	0,70	0,22
MM	x N	6,08	6,38	6,15	6,08	6,31	6,54	6,00	6,15	85,61
	x CD	6,35	6,58	6,23	6,35	6,27	6,23	5,92	6,23	85,77
<i>F</i>		0,37	0,37	0,74	0,25	0,85	0,11	0,73	0,70	0,89
C	x N	6,50	6,23	6,27	6,23	6,35	6,08	6,46	6,35	86,46
	x CD	6,46	6,53	6,23	6,00	6,38	6,31	6,23	6,38	86,38
<i>F</i>		0,90	0,15	0,87	0,32	0,85	0,23	0,31	0,85	0,95
CH	x N	4,92b	5,77	5,54	5,69	6,00	5,85	5,61	6,00	81,92
	x CD	5,61a	5,46	5,54	5,61	5,77	5,61	5,61	5,69	80,85
<i>F</i>		0,02	0,15	1,00	0,74	0,25	0,23	1,00	0,12	0,34

* delineamento experimental constituído por 4 regiões e 2 processamentos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente ($P < 0,05$), pelo teste de Scott-Knot

SM: Sul de Minas; MM: Matas de Minas; C: Cerrado Mineiro; CH: Chapadas de Minas; N: natural; CD: cereja descascado; Proc.=processamentos; Bal.=balanço; Bl: bebida limpa; GR: gosto remanescente; Doç. = doçura

Tabela 3 Composição bromatológica de cafés especiais de diferentes regiões e processamentos: média e probabilidade de significância (*F*) determinadas por análise de variância (ANAVA) de quatro regiões e dois processamentos*

Regiões/Proc.		Cinzas**	pH	Acidez T.	SS	AT**
SM		4,00b	4,94b	295,17b	28,13b	1,24c
MM		4,07b	4,88c	297,50b	27,50c	1,37b
C		4,30a	4,86d	318,83a	28,75a	1,41a
CH		3,92b	5,10a	275,00c	28,75a	1,08d
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N		4,09	4,92b	303,17a	28,12	1,29a
CD		4,06	4,97a	290,08b	28,44	1,26b
<i>F</i>		0,66	0,00	0,00	0,10	0,00
SM	x N	4,00	4,99a	292,67b	27,50b	1,18b
	x CD	4,00	4,88b	297,67a	28,77a	1,31a
<i>F</i>		1,00	0,00	0,02	0,00	0,00
MM	x N	4,30a	4,85b	305,00a	27,50	1,38
	x CD	3,85b	4,92a	290,00b	27,50	1,35
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00	1,00	0,10
C	x N	4,10b	4,85b	325,00a	25,50b	1,43a
	x CD	4,15a	4,87a	312,67b	30,00a	1,40b
<i>F</i>		0,00	0,04	0,00	0,00	0,03
CH	x N	3,95	5,00b	290,00a	30,00a	1,17a
	x CD	3,90	5,20a	260,00b	27,50b	0,99b
<i>F</i>		0,66	0,00	0,00	0,00	0,00

* delineamento experimental constituído por 4 regiões e 2 processamentos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente ($P < 0,05$), pelo teste de Scott-Knot.

** Resultados expressos na matéria-seca;

SM: Sul de Minas; MM: Matas de Minas; C: Cerado Mineiro; CH: Chapadas de Minas; N: natural; CD: cereja descascado; EE: extrato etéreo; A.T. acidez titulável; SS: sólidos solúveis; AT: açúcares totais

Para todos os atributos sensoriais, apenas os cafés provenientes da região das Chapadas de Minas diferiram significativamente dos demais ($p < 0,05$) e apresentaram as menores notas em todas as variáveis analisadas, inclusive na nota final (Tabela 2). Os atributos sensoriais avaliados não foram influenciados pelo tipo de processamento, exceto para a região das Chapadas de Minas, onde a interação região \times processamento foi significativa para a nota do atributo sabor. A pontuação dada ao sabor relata a intensidade, a qualidade e a complexidade da

combinação entre gosto e aroma sentidas quando o café é provado (MALTA et al., 2013; SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA – SCAA, 2008). O sabor é o principal critério utilizado por especialistas para a avaliação da qualidade do café, e sua pontuação relata a intensidade, qualidade e complexidade desse atributo na bebida (MASI et al., 2013; SCAA, 2008). Possivelmente, os cafés das Chapadas de Minas apresentaram um sabor com pouca personalidade e expressão. Tal fato pode ter contribuído para as menores notas sensoriais finais atribuídas a esses cafés. O sabor, bem como todos os outros atributos sensoriais do café, também varia em função das características inerentes ao material genético, da localização geográfica, do clima, das práticas agrícolas e do método de processamento aplicado (SUNARHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014).

Os teores de cinzas situaram-se entre os limites citados por Illy e Viani (1995) para café arábica (3,0%-4,5%). Os cafés da região do Cerrado Mineiro apresentaram o menor valor de cinzas, enquanto a interação região χ processamento foi significativa para as regiões das Matas de Minas e Chapadas de Minas. A cinza de um alimento é o resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica e é transformada em CO₂, H₂O e NO₂ (CECCHI, 2003). Ao comparar algumas características químicas e físicas de cafés torrados e moídos exóticos e especiais, Conti et al. (2013) determinaram valores de cinzas (g.100⁻¹g) entre 3,96 a 4,46, que são valores semelhantes ao deste estudo. Os teores de cinzas informam apenas os valores totais da matéria mineral presente nos grãos, porém, não informam quais minerais estão presentes, o que dificulta a correlação dos resultados com a qualidade da bebida do café.

Os valores de pH diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre todas as amostras avaliadas. Os valores encontrados estão de acordo com os estabelecidos por Sivetz e Derosier (1979), de 4,9 a 5,1 ($\pm 0,1$), para cafés torrados e moídos. Conti et al. (2013) citaram valores de pH na faixa de 5,02 a

5,51, para cafés torrados e moídos exóticos e especiais, estando esses valores próximos aos verificados no presente trabalho. Observa-se, ainda, que os valores de pH foram significativamente maiores para os cafés provenientes do processamento via úmida, em todas as interações região χ processamento analisadas, exceto para o cafés do Sul de Minas.

O pH do café é correlacionado com a acidez perceptível, por isso tem sido estudado como forma de avaliação deste importante atributo sensorial. Ao mesmo tempo, pesquisadores sugerem que a acidez titulável é que apresenta melhor correlação para determinar a acidez do café (MENDONÇA; PEREIRA; MENDES, 2005; VOILLEY et al., 1981).

Para a acidez titulável, houve diferença significativa entre os cafés do Cerrado Mineiro que apresentaram os menores teores, seguidos pelos cafés da região das Matas de Minas e do Sul de Minas, e o café das Chapadas de Minas. Todas as interações região χ processamento foram significativas ($p < 0,05$) para essa variável, tendo o processamento via úmida apresentado os menores valores, exceto para a região do Sul de Minas. Malta e Chagas (2010), ao verificarem o efeito do modo de processamento na composição físico-química e na qualidade da bebida do café produzido na região do Cerrado Mineiro, constataram que o processamento via úmida proporcionou menores valores médios de acidez titulável quando comparado com o processamento via seca. Possivelmente, o menor teor da acidez titulável dos cafés das Chapadas de Minas é devido a menor concentração de 5-ACQ presentes nesses cafés (Tabela 3), visto que o mesmo sofre descarboxilação, no processo de torração, em ácido quínico e cafeoilquinico.

A mesma explicação pode ser dada para os cafés do Sul de Minas e Matas de Minas, que apresentaram valores intermediários (Tabela 3) de 5-ACQ e os cafés do Cerrado Mineiro, que apresentaram o maior valor (Tabela 3) dessas substâncias fenólicas. Malta et al. (2013), verificando a influência das secagens

lenta e rápida sobre as variáveis bioquímicas, fisiológicas e da qualidade da bebida de grãos de café processados pelas vias úmida e seca, afirmaram que, em geral, cafés com baixa acidez não apresentam nota sensorial elevada. Esse relato está de acordo com os resultados do presente trabalho que descreve a menor nota final aos cafés das Chapadas de Minas.

Os sólidos solúveis são compostos importantes relacionados à formação de corpo da bebida. Sua fração é composta por açúcares, ácidos voláteis e compostos nitrogenados que se encontram solubilizados nos grãos (SIVETZ; DEROSIER, 1979). Os teores de sólidos solúveis estão de acordo com a encontrada na literatura, que cita valores entre 26 a 30 g.100g⁻¹ (ILLY; VIANI, 1995). Os cafés do Cerrado Mineiro e das Chapadas de Minas apresentaram os maiores valores de sólidos solúveis, seguidos do Sul de Minas, que apresentou teores intermediários e Matas de Minas, que obteve o menor teor desses compostos. Todas as interações região χ processamento foram significativas ($p < 0,05$) para sólidos solúveis, exceto para Matas de Minas. Os cafés provenientes do processamento via úmida apresentaram maiores valores de sólidos solúveis, exceto para região das Chapadas de Minas.

Com relação aos açúcares totais, nota-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre todas as amostras avaliadas. Observa-se que o café das Chapadas de Minas, que alcançou as menores notas nos atributos sensoriais, obteve os menores valores de açúcares totais.

Quanto às interações região χ processamento, só não houve diferença significativa para os cafés das Matas de Minas. Verifica-se que os cafés procedentes do processamento via seca apresentaram maiores valores de açúcares totais. Na literatura há relatos de maiores teores de açúcares redutores em cafés processados via seca (AMORIM et al., 2009; BORÉM et al., 2008; GONZALEZ-RIOS et al., 2007). Joët et al. (2010) afirmam que reações metabólicas importantes, como o catabolismo de glicose e frutose, ocorrem com

os grãos de café durante o processamento via úmida, o que resulta na diminuição desses compostos nesse tipo de processamento pós-colheita. Possivelmente, a translocação de açúcares presentes na polpa e na mucilagem para os grãos foi favorecida no processamento via seca. Contudo, esse comportamento não foi verificado para os cafés oriundos do Sul de Minas.

Em função da limitação da análise univariada para a compreensão do efeito de todas as variáveis estudadas, os dados foram submetidos à análise multivariada, realizada por meio do escalonamento multidimensional (MDS).

3.1.1 Escalonamento multidimensional (MDS)

Os resultados ilustrados na Figura 1 confirmam que as variáveis da composição bromatológica que apresentaram aproximação linear com as variáveis sensoriais foram pH e cinzas (cin.), sugerindo correlação negativa e positiva, respectivamente.

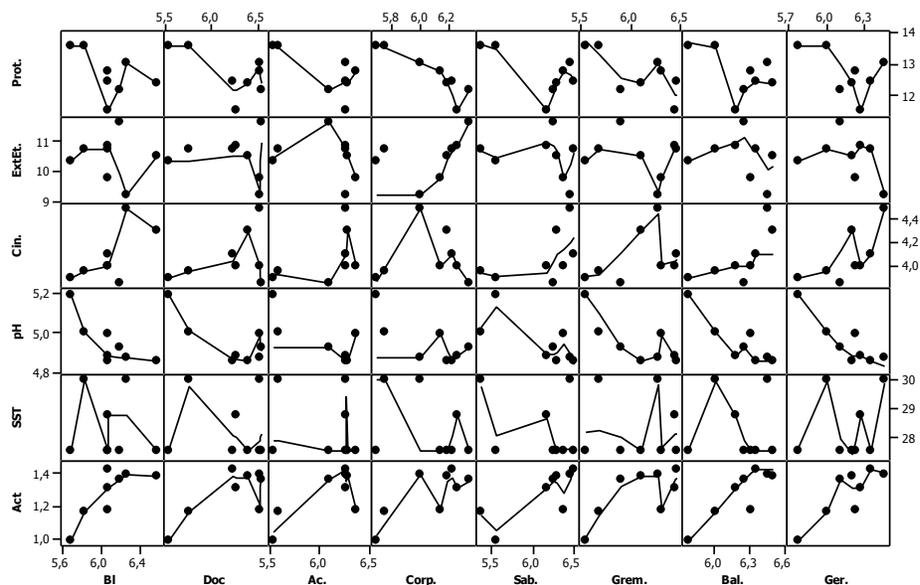


Figura 1 Análise exploratória da relação entre as variáveis da análise sensorial e composição bromatológica

Prot.= proteínas; Ext.Et = extrato etéreo; Cin.= cinzas; SST = sólidos solúveis totais; Act=açúcares totais; BI = bebida limpa; Doc.= doçura; Ac.= acidez; Corp.= corpo; Sab.= sabor; Grem.= gosto remanescente; Bal.= balanço; Ger.= geral

Diante desse resultado, a redução de variáveis utilizando o escalonamento multidimensional foi realizada, tendo por base a fixação dessas variáveis em relação à seleção de variáveis sensoriais. Nesse contexto, o estudo da similaridade entre os cafés especiais produzidos nas quatro regiões do estado de Minas Gerais foi realizado.

Na Figura 2 é apresentado o biplot com escalonamento multidimensional das variáveis bromatológicas (cinzas e pH) e dos atributos sensoriais (balanço, gosto remanescente e corpo), bem como a função *stress*, gerada com o propósito de verificar a qualidade do ajuste do MDS proporcionada pela redução das variáveis.

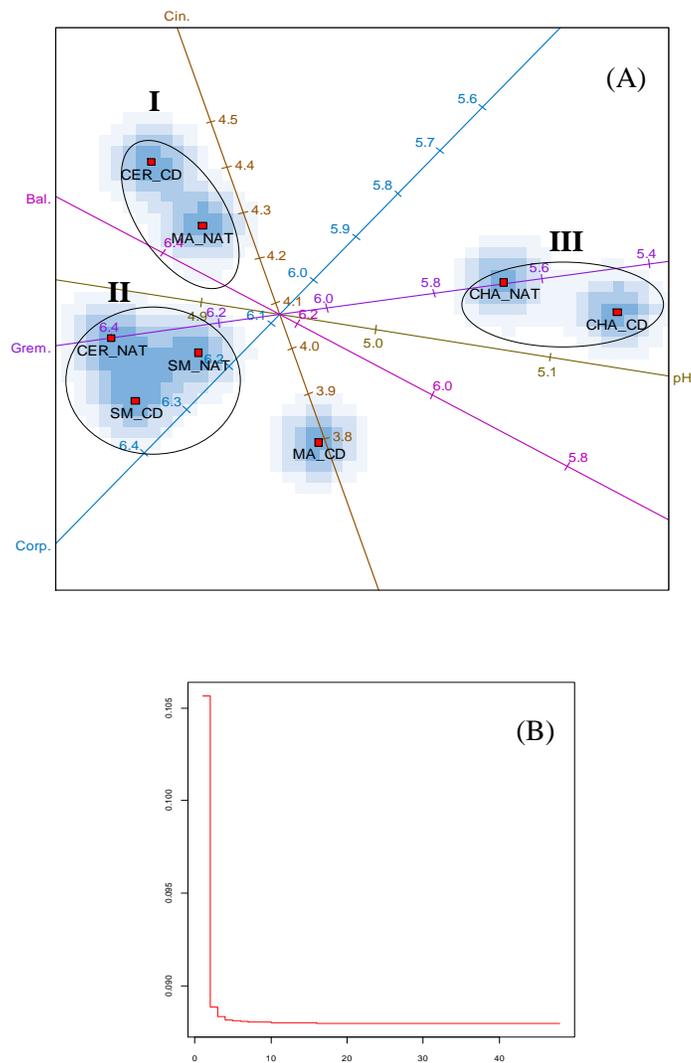


Figura 2 (A) Biplot com escalonamento multidimensional de cafés especiais e atributos sensoriais. (B) Função *stress* gerada em função da interação dos fatores: SM_NAT = Sul de Minas natural; SM_CD = Sul de Minas cereja descascado; MA_NAT = Matas de Minas natural; MA_CD = Matas de Minas cereja descascado; CER_N= Cerrado Mineiro natural; CER_CD = Cerrado Mineiro cereja descascado; CHA_NAT = Chapadas de Minas natural; CHA_CD = Chapadas de Minas cereja descascado; Cin = Cinzas; Bal = balanço; Grem = gosto remanescente; Corp = corpo e pH

Na representação, as distâncias entre os pontos estão diretamente relacionadas com dissimilaridades entre eles (Figura 2A). A função *stress* apresentou valor próximo a zero, indicando uma excelente qualidade de ajuste (Figura 2B). Tal fato permite afirmar que a relação entre os atributos sensoriais e a composição bromatológica pode ser sintetizada por essas variáveis, representadas nos eixos preditivos.

A partir dos agrupamentos formados é possível observar que os grupos de café à esquerda do biplot (grupos I e II) apresentaram a maior intensidade dos atributos balanço, gosto remanescente e corpo, quando comparados aos cafés do agrupamento III (Figura 2A). Esses atributos foram os mais importantes para a discriminação dos cafés dos agrupamentos I e II, inclusive quanto ao processamento dos cafés da região do Sul de Minas, que foram discriminados pelos atributos gosto remanescente e corpo.

Por outro lado, os cafés da região das Chapadas de Minas (grupo III) foram influenciados apenas pelos atributos gosto remanescente e pH. A variável cinzas foi pouco relevante para a discriminação dos cafés, sendo sua contribuição verificada apenas para a discriminação dos cafés do agrupamento I, junto com o atributo balanço, e do café MA_CD, junto com o atributo corpo. Entretanto, essa variável foi responsável por aproximar ou distanciar pontos dentro dos grupos formados em relação ao eixo vertical.

As grandes variações ocorridas entre as variáveis físico-químicas e os atributos sensoriais podem ser atribuídas à constituição química do material genético e diversidade climática que influenciam nas características da bebida. De acordo com Dal Molin et al. (2008), a variação das condições climáticas interfere na formação e na maturação dos frutos, alterando suas características intrínsecas, as quais podem permitir diferentes qualidades de bebida, com potencial de produção de café especial.

3.2 Compostos bioativos: efeito das regiões e processamentos

Os teores médios de compostos bioativos presentes nos cafés especiais, provenientes das diferentes regiões de Minas Gerais, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Teores de compostos bioativos em cafés especiais de diferentes regiões e processamento: média e probabilidade de significância (*F*) determinada por análise de variância (ANAVA) de quatro regiões e dois processamentos*

Regiões/processamentos		Cafeína (%)	Trigonelina (%)	5-ACQ (%)
Sul de Minas		1,04d	0,80c	1,02b
Matas de Minas		1,10b	0,82b	1,12a
Cerrado Mineiro		1,08c	0,84a	1,09a
Chapadas de Minas		1,20a	0,82b	0,94c
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00
N		1,07b	0,82	1,07a
CD		1,14a	0,82	1,02b
<i>F</i>		0,00	0,17	0,01
Sul de Minas	x N	1,02b	0,75b	0,93b
	x CD	1,06a	0,86a	1,12a
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00
Matas de Minas	x N	1,08b	0,82	1,18a
	x CD	1,12a	0,82	1,07b
<i>F</i>		0,00	0,72	0,00
Cerrado Mineiro	x N	1,04b	0,86a	1,10
	x CD	1,12a	0,82b	1,08
<i>F</i>		0,00	0,00	0,56
Chapadas de Minas	x N	1,13b	0,86a	1,08a
	x CD	1,26a	0,77b	0,81b
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00

*delineamento experimental constituído por 4 regiões e 2 processamentos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente ($P < 0,05$), pelo teste de Scott-Knot

SM: Sul de Minas; MM: Matas de Minas; C: Cerado; CH: Chapadas; N: natural; CD: cereja descascado

Os valores médios de trigonelina apresentam-se em um intervalo de 0,75 a 0,84 g.100⁻¹ e estão próximos dos citados por Rodarte, Pereira e Malta (2009), no ponto de torração médio para cafés classificados como bebida mole. Com relação às interações região χ processamento significativas ($p < 0,05$), nota-se que os cafés provenientes do processamento via seca apresentaram maior teor de trigonelina, que pode ser atribuído ao pronunciado efeito do processamento pós-colheita na composição química do café, especialmente dos componentes hidrossolúveis como a trigonelina (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010). Esse composto pode ter sido perdido por lixiviação durante o processamento via úmida, o que resultou em menores valores dessa variável para esse tipo de processamento em todas as regiões estudadas. Contudo, esse comportamento não foi verificado para a interação região χ processamento do Sul de Minas.

Em diversos trabalhos, as variações nos teores de trigonelina foram atribuídas às espécies de café, variedade, origem geográfica e as condições de torrefação (CASAL; OLIVEIRA; FERREIRA, 2000; JESZKA-SKOWRON; ZGOŁA-GRZEŚKOWIAK; GRZESKOWIAK, 2015; KY et al., 2001; RODRIGUES; BRAGAGNOLO, 2013). Kitzberger, Scholz e Benassi (2014), ao compararem a composição e a atividade antioxidante de cultivares de cafés tradicionais e modernas produzidas nas mesmas condições edafoclimáticas, constataram variações dos teores de trigonelina e atribuíram esse fato à grande influência da origem genética dos cafés na concentração desse constituinte. A qualidade da bebida do café também pode ser relacionada às concentrações de trigonelina presentes nos cafés. Farah et al. (2006) correlacionaram teores de trigonelina no café com a qualidade de diferentes bebidas e concluíram que aquelas classificadas como mole apresentaram maiores teores desse composto, quando comparadas a bebidas de qualidade inferior. Embora existam diferenças significativas entre os teores de trigonelina citados no presente trabalho, nota-se

que os valores médios são muito próximos ($\pm 0,1$), o que indica uma influência semelhante desses compostos na qualidade dos cafés especiais avaliados.

Um grande número de compostos aromáticos resulta da degradação térmica dos compostos fenólicos que contribuem para o sabor, a acidez e a adstringência da bebida do café (BICHO et al., 2011).

Os teores médios de 5-ACQ foram significativos ($p < 0,05$) para as regiões, processamentos e interação região \times processamento, numa faixa de valores que variou de 0,81 a 1,18 g.100g⁻¹. Esses resultados estão próximos dos citados por Rodarte, Pereira e Malta (2009) e Abrahão et al. (2010), para bebidas classificadas como mole e torração média. Entretanto, outros autores relatam valores muito superiores aos verificados no presente estudo (KITZBERGER; SCHOLZ; BENASSI, 2014; MARCUCCI et al., 2013). Farah et al. (2006) identificaram oito ácidos clorogênicos no café e correlacionaram as maiores concentrações desses compostos com cafés de pior qualidade (bebida rio zona) e os menores conteúdos em cafés de melhor qualidade (bebida mole). Para Clifford (1999), teores elevados de ácidos clorogênicos no café são responsáveis pela sua adstringência e interferência no sabor e no aroma do café torrado. Tais fatos podem justificar a diferença de valores entre os cafés especiais e cafés comerciais.

Quanto às interações, observaram-se maiores teores de 5-ACQ para os cafés procedentes do processamento via seca. Esses resultados estão de acordo com os de Balylaya e Clifford (1995), que relataram maiores valores de ácidos clorogênicos em cafés arábica provenientes do processamento via seca, quando comparados com os obtidos por via úmida. Assim como a trigonelina, os ácidos clorogênicos são substâncias hidrossolúveis e podem ser afetadas pelo processamento pós-colheita (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010).

Esses compostos também variam com relação à espécie e à cultivar, ao grau de maturação dos frutos e ao processo de torração (DUARTE; PEREIRA;

FARAH, 2010; FARAH; DONANGELO, 2006). Ky et al. (2001) afirmam que a origem geográfica é a principal causa da variabilidade no teor da maioria dos isômeros dos ácidos clorogênicos dentro de um mesmo grupo genético de cafés. Esses autores ainda salientaram que esta variabilidade no teor desses isômeros pode estar relacionada também com a maior ou a menor adaptação de cada cultivar arábica para as condições edafoclimáticas de produção do café. As variações verificadas para o ácido 5-ACQ, tanto para as regiões produtoras de cafés quanto para o tipo de processamento, indicam que as condições edafoclimáticas também podem ter influenciado a composição dessas substâncias nos cafés especiais estudados.

Para cafeína, o conteúdo variou de 1,02 a 1,26 e está de acordo com os valores citados na literatura (CONTI et al., 2013; KITZBERGER; SCHOLZ; BENASSI, 2014; RODARTE; PEREIRA; MALTA, 2009). A pouca variação dos valores médios ($\pm 0,2$), entre os fatores avaliados, embora significativa ($p < 0,05$), indica a mesma influência da cafeína na qualidade cafés especiais estudados. Kitzberger, Scholz e Benassi (2014) também constataram variações no conteúdo de cafeína entre diferentes cultivares de cafés arábica e atribuíram a esses resultados à diferenciada relação entre a expressão do genótipo e as interações com o ambiente para esse composto. Com relação à significativa interação região \times processamento ($p < 0,05$), nota-se que todos os cafés processados por via úmida obtiveram os maiores valores de cafeína, quando comparados com o processamento via seca. Esse fato pode ser atribuído a perdas por lixiviação e fermentação de outros compostos hidrossolúveis, como trigonelina e 5-ACQ que, de modo geral, apresentam os menores valores para esse tipo de processamento, o que pode ter resultado na concentração da cafeína (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010).

Para o estudo do efeito da composição dos compostos bioativos na qualidade sensorial da bebida do café foi aplicado o escalonamento multidimensional (MDS).

3.2.1 Escalonamento multidimensional

Os resultados ilustrados na Figura 3 evidenciam que, de modo geral, todas as variáveis sensoriais em relação aos compostos bioativos não apresentam tendência linear. Tal fato permite afirmar que não há evidência estatística de uma suposta correlação entre as variáveis, para todos os cafés especiais avaliados. Mediante esse fato, na análise de redução de variáveis, utilizando a técnica de escalonamento multidimensional, sugere-se manter trigonelina e cafeína, devido à evidência de seus efeitos antagônicos.

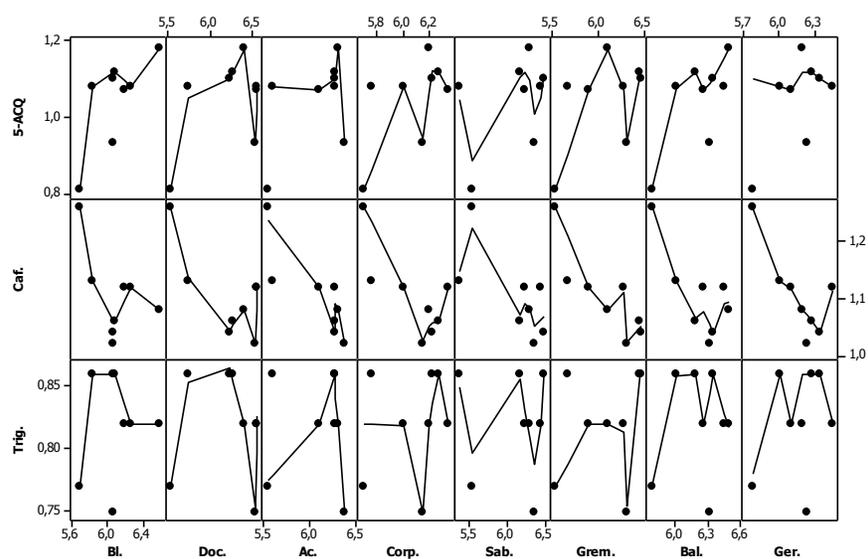


Figura 3 Análise exploratória da relação das variáveis dos compostos bioativos com as variáveis sensoriais

Caf. = cafeína; Trig. = trigonelina; Bl= bebida limpa; Doc.= doçura; Ac.=acidez; Corp.= corpo; Sab.=sabor; Grem.=gosto remanescente; Bal.=balanço; Ger.=geral

Em função da redução de variáveis, seguindo o critério da função *stress*, justificam-se as variáveis escolhidas, com pouca perda de informação, uma vez que o gráfico das interações apresenta valores estimados para essa função próximos a zero.

Na Figura 4 são apresentados o biplot com escalonamento multidimensional dos compostos bioativos (trigonelina e cafeína) e dos atributos sensoriais (gosto remanescente, sabor e doçura), bem como a função *stress* gerada com o propósito de verificar a qualidade do ajuste do MDS proporcionada pela redução das variáveis.

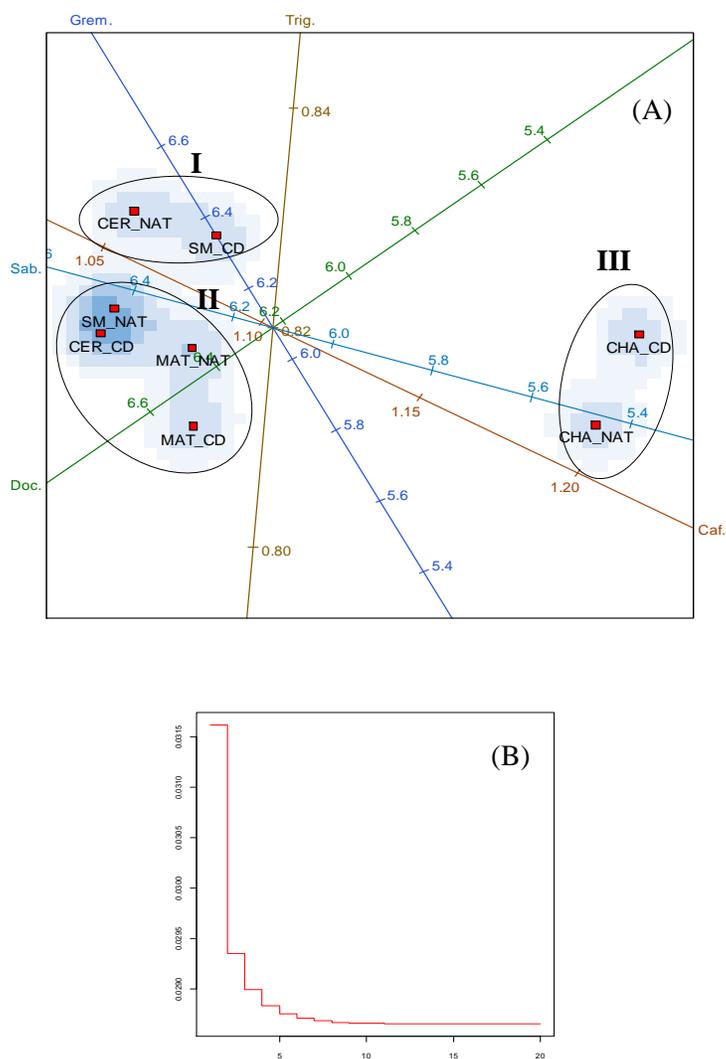


Figura 4 (A) Biplot com escalonamento multidimensional de cafés especiais e atributos sensoriais. (B) Função *stress* gerada em função da interação dos fatores: SM_NAT = Sul de Minas natural; SM_CD = Sul de Minas cereja descascado; MAT_NAT = Matas de Minas natural; MAT_CD = Matas de Minas cereja descascado; CER_NAT= Cerrado Mineironatural; CER_CD = Cerrado Mineirocereja descascado; CHA_NAT = Chapadas de Minasnatural; CHA_CD = Chapadas de Minas cereja descascado; Grem.= gosto remanescente; Sab.= sabor; Doc.=doçura; Trig.=trigonelina; Caf.=caféina

Os cafés da região das Chapadas de Minas agrupados à direita do biplot (grupo III) foram discriminados independente do tipo de processamento empregado e apresentam as menores intensidades para os atributos gosto remanescente, sabor e doçura e maiores teores de cafeína, quando comparados aos cafés agrupados à esquerda (grupos I e II). O conteúdo de cafeína presente no café está correlacionado com a qualidade da bebida, uma vez que contribui para o seu amargor (ALONSO-SALCES et al., 2009; FARAH et al., 2006; RODRIGUES; BRAGAGNOLO, 2013). Tais fatos permitem afirmar que os cafés da região das Chapadas de Minas, embora especiais, apresentam qualidade sensorial inferior à dos cafés das outras regiões de Minas, o que corrobora sua menor nota final (Tabela 1).

Os cafés CER_NAT e SM_CD, agrupados à esquerda do biplot (grupo I), foram discriminados por menores concentrações de cafeína e maiores de gosto remanescente. O gosto remanescente, ou finalização, pode ser definido como a persistência do sabor, isto é, das características percebidas em sequência no paladar e que permanecem depois que o café é expelido da boca (SCAA, 2008). Figueiredo (2013) discriminou a qualidade da bebida de café Bourbon proveniente de diferentes ambientes e concluiu que cafés de qualidade superior apresentaram menores teores de cafeína. Possivelmente, a persistência de sabores agradáveis e pouco amargos proporcionou uma bebida diferenciada nos cafés estudados no presente trabalho.

A trigonelina pouco contribuiu para a discriminação dos cafés, entretanto, foi responsável por aproximar ou distanciar pontos dentro dos grupos formados em relação ao eixo vertical. O café da região das Matas de Minas oriundo do processamento via úmida foi o que mais sofreu influência dessa variável, conhecida por contribuir indiretamente para a formação de compostos de aroma desejáveis e indesejáveis, durante o processo de torração (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; MACRAE, 1985; MOREIRA; TRUGO; MARIA,

2000). A pouca diferença na concentração de trigonelina (0,80 a 0,84 g.100g⁻¹) entre os cafés das diferentes regiões de Minas mostra a semelhante contribuição dessa variável na qualidade dos cafés especiais avaliados.

Os atributos doçura e sabor foram os mais relevantes para a discriminação dos cafés do agrupamento II, principalmente SM_NAT, CER_CD e MAT_NAT, localizados à esquerda do biplot (Figura 4).

A doçura é uma das características do sabor mais desejáveis nos cafés *gourmets*. Já o sabor é considerado a combinação de sensações causadas pelos compostos químicos da bebida, quando introduzida na boca (RIBEIRO; AUGUSTO; FERREIRA, 2010). A distância entre os pontos representados pelos cafés SM_NAT e CER_CD no biplot em relação aos eixos preditivos dos atributos sabor e doçura indica a semelhante influência desses atributos sobre a qualidade sensorial dos dois cafés. Tais fatos esclarecem os maiores valores médios para notas finais obtidas por esses cafés para o processamento natural e cereja descascado, respectivamente. (Tabela 1). Nota-se, ainda, uma tendência de agrupamento dos cafés dos dois tipos de processamento pós-colheita, oriundos da região das Matas de Minas, que também se relacionam com os atributos sabor e doçura. Contudo, as distâncias entre os cafés e os eixos preditivos desses atributos indicam uma menor relação dos mesmos com os cafés das Matas de Minas.

3.3 Ácidos graxos: efeito das regiões e processamentos

De acordo com os resultados apresentados (Tabela 5), observa-se que as amostras são compostas majoritariamente pelos ácidos linoleico e palmítico, tendo essa tendência também sido observada em outros estudos (FIGUEIREDO, 2013; JHAM et al., 2008; LIMA, 2012; TURATTI, 2001).

Tabela 5 Identificação de ácidos graxos (% área) de cafés especiais de diferentes regiões e processamento: média e probabilidade de significância (*F*) determinada por análise de variância (ANAVA) de quatro regiões e dois processamentos*

Regiões/processamentos		c13:0	c15:0	c16:0	c18:0	c18:1	c18:2	c18:3	c20:1	c21:0
Sul de Minas		7,24b	0,51b	32,89a	6,20 ^a	7,30b	42,97a	1,02a	2,08a	0,54a
Matas de Minas		7,33b	0,39b	33,27a	5,28b	6,81d	43,54a	0,90b	1,71c	0,40c
Cerrado		8,93a	0,49b	31,31b	6,13 ^a	7,09c	42,40b	1,00a	2,08a	0,50b
Chapadas		9,27a	0,67a	31,46b	6,62b	7,61a	42,37b	1,01a	1,96b	0,23d
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Natural		7,42b	0,47b	32,86a	5,61b	7,24	42,88	0,98	1,95	0,50a
Cereja descascado		8,96a	0,56a	31,61b	6,00a	7,16	42,76	0,99	1,95	0,33b
<i>F</i>		0,00	0,04	0,00	0,00	0,14	0,61	0,63	0,97	0,00
Sul de Minas	x N	6,93	0,47	33,10	7,22 ^a	7,26	42,97	0,98b	2,31a	0,68a
	xCD	7,55	0,55	32,68	5,18b	7,33	42,96	1,06a	1,85b	0,40b
<i>F</i>		0,29	0,35	0,20	0,00	0,49	0,98	0,03	0,00	0,00
Matas de Minas	x N	6,85	0,33	33,89a	5,25	6,48b	44,00	0,89	1,69	0,38
	xCD	7,82	0,45	32,64b	5,31	7,15a	43,08	0,91	1,72	0,41
<i>F</i>		0,11	0,18	0,00	0,46	0,00	0,06	0,56	0,47	0,17
Cerrado	x N	7,93b	0,56	32,30a	5,86b	7,17	42,74	1,04	1,92b	0,47b
	xCD	9,93a	0,42	30,32b	6,41 ^a	7,00	42,05	0,97	2,24a	0,52a
<i>F</i>		0,00	0,11	0,00	0,00	0,14	0,15	0,10	0,00	0,04
CH	x N	8,00b	0,50b	32,56a	5,70	8,07a	41,80b	1,02	1,90b	0,46a
	xCD	10,54a	0,83a	30,37b	5,55	7,16b	42,94a	1,00	2,02a	0,00b
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,76	0,01	0,00

* delineamento experimental constituído por 4 regiões e 2 processamentos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente ($P < 0,05$), pelo teste de Scott-Knot. c13:0= ácido tridecanoico; c15:0= ácido pentadecanoico; c16:0= ácido palmítico; c18:0= ácido esteárico; c18:1= ácido oleico; c18:2= ácido linoleico; c18:3= α - Linolênico; c20:1= ácido eicosanoico; c21:0= ácido heneicosanoico

Todos os ácidos graxos analisados proporcionaram a diferenciação da maioria dos cafés estudados ($p < 0,05$) (Tabela 4). Romano et al. (2014), também identificaram os ácidos graxos citados no presente estudo em cafés arábica e verificaram diferença significativa da maioria desses compostos no café torrado. Joët et al. (2010), analisando a influência de fatores ambientais, processamento via úmida e suas interações sobre a composição bioquímica dos grãos de café arábica crus, afirmaram que a grande variabilidade dos perfis de ácidos graxos para os diferentes cafés avaliados pode ser atribuída à variedade, às condições edafoclimáticas, às práticas agrícolas e às técnicas pós-colheita. Estes autores relataram a influência das condições climáticas sobre as principais vias metabólicas do café, dentre elas o conteúdo de ácidos graxos. Possivelmente, as diferenças edafoclimáticas, associadas a diferentes cultivares e regiões de Minas avaliadas, interferiram no teor de ácidos graxos dos cafés especiais estudados. Com relação às significativas interações região \times processamento ($p < 0,05$), nota-se que não há uma tendência quanto à influência do processamento no perfil de ácidos graxos dos cafés avaliados.

Embora, na literatura, existam relatos da importância da fração lipídica para o aroma do café, são escassos os trabalhos nos quais se correlaciona o conteúdo de ácidos graxos com sua qualidade. Os ácidos graxos atuam como precursores de muito compostos responsáveis pelo *flavor* e os mesmos se comportam como reservatórios de voláteis e fornecem, para bebidas de café, características desejáveis, tais como cremosidade (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999; NOVAES et al., 2015). Novaes et al. (2015) afirmam que o papel dos lipídeos na qualidade sensorial da bebida do café ainda não foi elucidado. Diante desse fato, é difícil estabelecer uma relação entre essas variáveis e a qualidade dos cafés estudados.

Em virtude da complexidade do perfil de ácidos graxos envolvidos na caracterização dos cafés especiais mostrados na análise univariada, assim como

sua relação com a qualidade da bebida, foi aplicado o escalonamento multidimensional (MDS).

3.3.1 Escalonamento multidimensional

Os resultados ilustrados na Figura 5 evidenciam que praticamente todas as variáveis dos ácidos graxos não apresentam um comportamento linear com as variáveis sensoriais, de modo a sugerir uma correlação. Portanto, a seleção das variáveis pertencentes ao grupo dos ácidos graxos e das variáveis sensoriais foi feita aleatoriamente, de forma a considerar apenas os resultados da função *stress*, ilustrada na Figura 6.

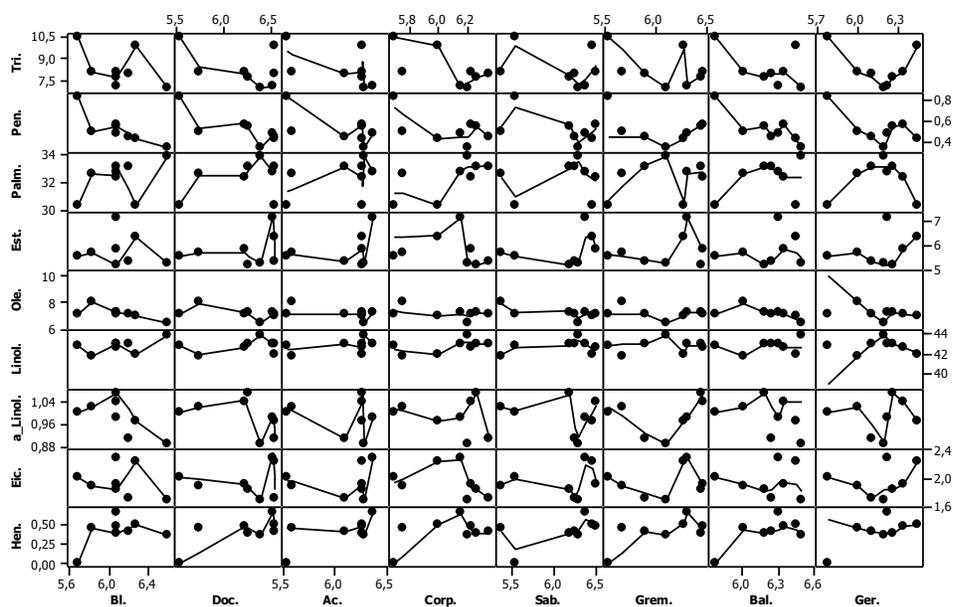


Figura 5 Análise exploratória da relação das variáveis dos ácidos graxos com as variáveis sensoriais

Tri.=ácido tridecanoico; Pen.=pentadecanoico; Pal.=palmítico; Est.=ácido esteárico; Ole.=oleico; Linol.=linoleico; α -Linol.=ácido α -linolênico; Eic.=eicosanoico; Hen.=heneicosanoico

Em função da redução de variáveis, seguindo o critério da função *stress*, justificam-se as variáveis escolhidas, com pouca perda de informação, uma vez que o gráfico das interações apresenta valores estimados para essa função próximos a zero.

Na Figura 6 é apresentado o biplot com escalonamento multidimensional dos ácidos graxos (eicosanoico e heneicosanoico) e dos atributos sensoriais (doçura e corpo), bem como a função *stress* gerada com o propósito de verificar a qualidade do ajuste do MDS, proporcionada pela redução das variáveis.

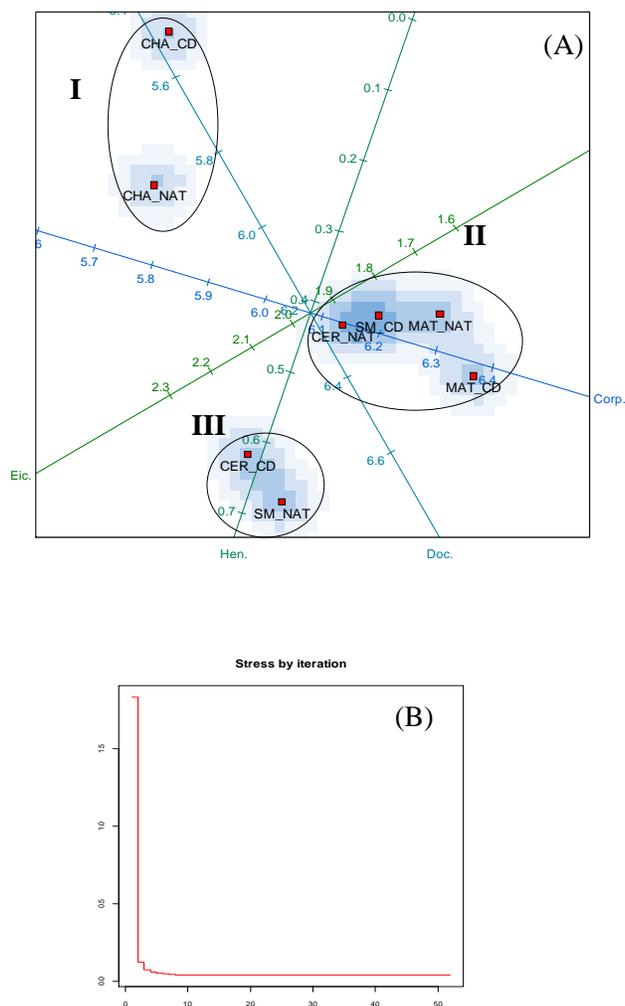


Figura 6 (A) Biplot com escalonamento multidimensional de cafés especiais e atributos sensoriais. (B) Função *stress* gerada em função da interação dos fatores: SM_NAT = Sul de Minas natural; SM_CD = Sul de Minas Cereja descascado; MAT_NAT = Matas de Minas natural; MAT_CD = Matas de Minas cereja descascado; CER_NAT= Cerrado Mineironatural; CER_CD = Cerrado Mineirocereja descascado; CHA_NAT = Chapadas de Minasnatural; CHA_CD = Chapadas de Minas cereja descascado; Doc.=doçura; Corp.=corpo; Eic.=eicosanoico; Hen. = heneicosanoico

Todas as variáveis apresentadas no MDS contribuíram para a discriminação das amostras, no entanto, em diferentes intensidades. Observa-se que os cafés das Chapadas de Minas, agrupados à esquerda do biplot (grupo I) (Figura 6), apresentaram as menores intensidades dos atributos corpo e doçura e também dos ácidos graxos (eicosanoico e heneicosanoico). Esses cafés também apresentam as menores notas finais na análise sensorial (Tabela 1). Os cafés pertencentes ao agrupamento II relacionam-se, principalmente, com o atributo corpo e o ácido eicosanoico.

O óleo do café é composto, principalmente, de triacilgliceróis com ácidos graxos, em proporções semelhantes às encontradas em óleos vegetais comuns comestíveis (FIGUEIREDO, 2013; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006). Os óleos presentes no café têm a capacidade de cobrir a língua durante a ingestão, fornecendo uma sensação bucal oleosa e cremosa, característica do corpo da bebida (FIGUEIREDO, 2013; ILLY; VIANI, 2005). Assim, verifica-se a possível contribuição do ácido eicosanoico para o aumento do corpo da bebida desses cafés e, portanto, para a qualidade sensorial diferenciada desses cafés especiais.

Os cafés pertencentes ao grupo III (Figura 6) relacionam-se, principalmente, com maiores concentrações do ácido heneicosanoico. Novaes et al. (2015) afirmam que cafés com maiores teores de lipídeos apresentam melhor qualidade sensorial da bebida. Decazy et al. (2003) relacionaram o conteúdo de lipídeos com a qualidade da bebida e verificaram que os cafés que apresentaram os maiores teores desses compostos foram os preferidos pelos provadores. Tais fatos permitem correlacionar a presença de maiores teores desses ácidos com os maiores valores médios das notas finais (Tabela 1) atribuídas a esses cafés especiais.

4 CONCLUSÕES

As amostras de cafés especiais apresentaram diferenças significativas em todas as variáveis analisadas, exceto para os atributos sensoriais das regiões do Sul de Minas, Matas de Minas e Cerrado Mineiro.

Os cafés da região das Chapadas de Minas apresentaram as menores notas sensoriais em todos os atributos, inclusive na nota sensorial final.

O tipo de processamento influenciou significativamente o conteúdo da maioria das variáveis analisadas.

O conteúdo de cinzas permitiu a discriminação dos cafés com maiores e menores notas sensoriais.

As variáveis cafeína e doçura influenciaram a discriminação dos cafés das Chapadas de Minas, independente do tipo de processamento, com maior e menor intensidade, respectivamente.

As maiores concentrações dos ácidos eicosanoico e heneicosanoico foram relacionadas aos cafés de maiores notas sensoriais e contribuíram para a discriminação desses cafés em relação aos cafés com menores notas sensoriais.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, S. A. et al. Coffee (*Coffea arabica* L.) bioactive compounds and antioxidant activity. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, mar./abr. 2010.

ALONSO-SALCES, R. M. et al. Botanical and geographical characterization of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*): chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, p. 4224-4235, 2009.

AMORIM, A. C. L. et al. Green and roasted arabica coffees differentiated by ripeness, process and cup quality via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 313-321, 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists**. 12nd ed. Washington, 1990. 162 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of the Association of the Agricultural Chemists**. 15th ed. Washington, 2000. 1094 p.

AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 85, p. 1869-1876, 2005.

AVELINO, J. et al. **Ver une identification de cafés-terroir au Honduras**. Montpellier Cedex: Plantations Recherche Developpement, 2002.

BALYLAYA, K. J.; CLIFFORD, M. N. Chlorogenic acids and caffeine contents of monsooned Indian Arabica and robusta coffees compared with wet and dry processed coffees from the same geographic area. In: ASIC of Colloque Coffee, 16., 1995, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: ASIC, 1995. p. 316-324.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 04, n. 05, p. 181-190, Jan. 2012.

BEE, S. et al. The raw bean. In: ILLY, A.; VIANI, R. (Ed.). **Espresso coffee, the science of quality Italy**. San Diego: Elsevier Academic, 2005. p. 87-178.

BICCHI, C. P. et al. Characterization of green and roasted coffees through the chlorogenic acid fraction by HPLCUV and principal component analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, p. 1549-1555, 1995.

BICHO, N. C. et al. Identification of chemical clusters discriminators of the roast degree in Arabica and Robusta coffee beans. **European Food Research and Technology**, New York, v. 233, p. 303-311, Apr. 2011.

BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, 2008.

BORG, I.; GROENEN, P. **Modern multidimensional scaling: theory and applications**. New York: Springer Series in Statistics, 2005.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Protocolo para análise sensorial do café**. 2008. Disponível em: <<http://www.bsca.com.br>>. Acesso em: 13 maio 2015.

CASAL, S.; OLIVEIRA, B.; FERREIRA, M. A. HPLC/diode-array applied to thermal degradation of trigonelline, nicotinic acid and caffeine in coffee. **Food Chemistry**, London, v. 68, p. 481-485, 2000.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003. 207 p.

CLIFFORD, M. N. Review - chlorogenic acids and other cinnamates nature - occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 79, p. 362-372, 1999.

CONTI, M. C. D. et al. Características físicas e químicas de cafés torrados e moídos exóticos e convencionais. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 161-172, jan./jun. 2013.

DAL MOLIN, R. N. et al. Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuítas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Paraná, v. 30, n. 3, p. 353-358, 2008.

DECAZY, F. et al. Quality of different honduran coffees in relation to several environments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 7, p. 2356-2361, 2003.

DE LEEUW, J. Convergence of the majorization method for multidimensional scaling. **Journal of Classification**, Missouri, v. 5, p. 163-180, 1988.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C. Componentes voláteis do café torrado: parte I: compostos heterocíclicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 209-217, mar./abr. 1999.

DUARTE, G. S.; PEREIRA, A. A.; FARAH, A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 851-855, 2010.

FARAH, A.; DONANGELO, C. M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 1, p. 23-36, 2006.

FARAH, A. et al. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, London, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO, L. P. **Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de bourbon em diferentes ambientes**. 2013. 127 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 226, p. 497-509, 1957.

GONZALEZ-RIOS, O. et al. Impact of post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans: I. green coffee. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 20, n. 3/4, p. 289-296, 2007.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. London: Academic, 1995. 253 p.

ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the science of quality**. London: Academic, 2005. 398 p.

JESZKA-SKOWRON, M.; ZGOŁA-GRZEŚKOWIAK, A.; GRZEŚKOWIAK, T. Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. **European Food Research and Technology**, New York, v. 240, n. 1, p. 19-31, 2015.

JHAM, G. N. et al. The use of fatty acid profile as a potential marker for Brazilian coffee (*Coffea arabica* L.) for corn adulteration. **Journal of Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 19, n. 8, p. 1462-1467, 2008.

JOËT, T. et al. Influence of environmental factors, wet processing and their interactions on the biochemical composition of green Arabica coffee beans. **Food Chemistry**, London, v. 118, n. 3, p. 693-701, 2010.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. D. S.; BENASSI, M. D. T. Bioactive compounds content in roasted coffee from traditional and modern *Coffea arabica* cultivars grown under the same edapho-climatic conditions. **Food Research International**, Amsterdam, v. 61, p. 61-66, 2014.

KY, C. L. et al. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. **Food Chemistry**, London, v. 75, p. 223-230, 2001.

LIMA, A. R. **Descafeinação do café**: compostos bioativos, efeito sobre o estresse oxidativo e perfil lipídico em ratos hiperlipidêmicos. 2012. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MACRAE, R. Nitrogenous compounds. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee chemistry**. Amsterdam: Elsevier Applied Science, 1985. p. 115-152.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R. M. Processamento e qualidade do café produzido na região do cerrado mineiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2010.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 05, p. 431-440, set./out. 2013.

MARCUCCI, C. T. et al. Teores de trigonelina, ácido 5-cafeoilquínico, cafeína e melanoidinas em cafés solúveis comerciais brasileiros. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 544-548, 2013.

MASI, C. et al. Sensory properties of under-roasted coffee beverages. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 78, n. 8, p. 1290-1300, 2013.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea* L.) by interspecific hybridization. **Euphytica**, Wageningen, v. 59, p. 55-60, 1992.

MENDONÇA, L. M. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 239-243, abr./jun. 2005.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; MARIA, C. A. B. Compostos voláteis do café torrado: parte II: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 195-201, 2000.

NEBESNY, E.; BUDRYN, G. Evaluation of sensory attributes of coffee brews from robusta coffee roasted under different conditions. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 224, p. 159-165, 2006.

NOVAES, F. J. M. et al. New approaches on the analyses of thermolabile coffee diterpenes by gas chromatography and its relationship with cup quality. **Talanta**, London, v. 139, p. 159-166, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

RIBEIRO, J. S.; AUGUSTO, F.; FERREIRA, M. M. C. Uso de perfis cromatográficos de voláteis de cafés arábicas torrados para a diferenciação das amostras segundo o sabor, o aroma e a qualidade global da bebida. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 9, p. 1897-1904, 2010.

RODARTE, M. P.; PEREIRA, R. G. F. A.; MALTA, M. R. Compostos não voláteis em cafés da região Sul de Minas submetidos a diferentes pontos de torração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1366-1371, set./out. 2009.

RODRIGUES, C. I. et al. Stable isotope analysis for green coffee bean: a possible method for geographic origin discrimination. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, p. 463-471, 2009.

RODRIGUES, N. P.; BRAGAGNOLO, N. Identification and quantification of bioactive compounds in coffee brews by HPLC-DAD-MSn. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 32, n. 2, p. 105-115, 2013.

ROMANO, R. et al. Identification markers based on fatty acid composition to differentiate between roasted Arabica and Canephora (Robusta) coffee varieties in mixtures. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2014.

SIVETZ, M.; DEROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. In: _____. **Coffee technology**. Westpor: Avi, 1979. p. 527-575.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Protocolo para análise sensorial do café**. 2008. Disponível em: <<http://www.scaa.org>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. The lipid fraction of the coffee bean. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, p. 201-216, 2006.

SUNARHARUM, W. B.; WILLIAMS, D. J.; SMYTH, H. E. Complexity of coffee flavor: a compositional and sensory perspective. **Food Research International**, Amsterdam, v. 62, p. 315-325, 2014.

TOCI, A. T.; FARAH, A. Volatile compounds as potential defective coffee beans' markers. **Food Chemistry**, London, v. 108, p. 1133-1141, 2008.

TOCI, A. T.; FARAH, A. Volatile fingerprint of Brazilian defective coffee seeds: corroboration of potential marker compounds and identification of new low quality indicators. **Food Chemistry**, London, v. 153, p. 298-314, 2014.

TURATTI, J. M. Extração e caracterização de óleo de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2001. p. 1533-1539.

VITORINO, M. D. et al. Metodologias de obtenção de extrato de café visando a dosagem de compostos não voláteis. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 17-24, 2001.

VOILLEY, A. et al. Influence of some processing conditions on the quality of coffee brew. **Journal of Food Process Preservation**, Westport, n. 5, p. 135-143, 1981.

CAPÍTULO 3

Perfis sensorial e volátil de cafés especiais das quatro regiões do estado de Minas Gerais

RESUMO

Neste estudo caracterizou-se o perfil sensorial e volátil de café especiais (*Coffea arabica* L.) tipo 2ou superior obtidos pelos pré-processamentos natural e cereja descascado, na safra 2013, no estado de Minas Gerais. Para cada região foram obtidas duas amostras de diferentes processamentos, totalizando oito amostras. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Os grãos foram torrados seguindo o protocolo para cafés especiais. A metodologia utilizada foi a do Cup of Excellence (CoE) de 1997, na qual cada atributo recebeu nota de acordo com a intensidade. As amostras receberam notas de 0 a 8 para cada atributo sensorial, em uma escala de pontos. Os voláteis foram extraídos por *headspace* e fibras adsorventes (SPME). A identificação dos voláteis foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de componentes principais (ACP). Os cafés Sul de Minas natural (SMN) e Cerrado Mineiro cereja descascado (CCD), que obtiveram as maiores notas finais nas categorias natural e cereja descascado, respectivamente, foram discriminados pelos atributos corpo (C), geral (G), sabor (S) e acidez (A). O atributo sensorial bebida limpa (BL) relacionou-se às amostras Matas de Minas, independente do tipo de processamento. Os cafés Sul de Minas cereja descascado (SMCD) e Cerrado Mineiro natural (CN) foram relacionados ao atributo gosto remanescente (GR). Não foi possível estabelecer qualquer relação sobre a influência dos atributos sensoriais na qualidade da bebida dos cafés da região das Chapadas de Minas. Os maiores números de compostos voláteis identificados com maiores áreas foram aqueles das classes dos furanos, pirazinas e cetonas. As amostras que obtiveram as maiores notas finais na análise sensorial, Sul de Minas natural (SMN), Cerrado Mineiro cereja descascado (CCD), Cerrado Mineiro natural (CN), Sul de Minas cereja descascado (SMCD) e a amostra Chapadas de Minas natural (CHN), foram relacionadas, principalmente, ao 2-furanmetanol acetate. Outros compostos, como 3 pentanone, 2-methyl-, 2,3 dimethylpyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine e 5-methylfurfural, também contribuíram para a discriminação desses cafés. O café da região das Chapadas de Minas cereja descascado (CHCD) foram relacionadas a 2,3 dimethylpyrazine, acetic acid e

pyridine. Esses dois últimos compostos podem ter contribuído para a menor nota sensorial final desse café. Os cafés da região das Matas de Minas foram discriminados pelo composto 2,6-dimethylpyrazine, que pode ser considerado um indicador de qualidade desses cafés.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Qualidade. Análise de componentes principais. Voláteis.

1 INTRODUÇÃO

O perfil aromático do café é uma mistura complexa de compostos com poderes odoríferos distintos presentes em diferentes concentrações e que caracterizam a bebida principalmente pelo sabor e o aroma. Esses atributos sensoriais estão diretamente associados à qualidade final da bebida e são formados durante o processo de torração, por meio de várias reações químicas, como Maillard, degradação de Strecker e caramelização (FISK et al., 2012).

As características sensoriais do café torrado estão intimamente relacionadas à constituição química dos grãos crus, devido ao fato de um grande número de compostos aromáticos resultarem da degradação térmica de ácidos clorogênicos (principalmente ésteres fenólicos), e compostos policíclicos, que contribuem para o aroma, o sabor, a acidez e a adstringência da bebida (BICHO et al., 2011). Contudo, a relativa concentração desses precursores químicos depende de vários fatores, como origem do café, variedade, condições edafoclimáticas e tipo de processamento. O processo de torração, moagem e tipo de preparo da bebida também influenciam suas propriedades sensoriais (BHUMIRATANA; ADHIKARI; CHAMBERS IV, 2011; FISK et al., 2012).

Aproximadamente mil compostos voláteis já foram identificados no café e compreendem classes de furanos, pirazinas, cetonas pirroles, fenóis, hidrocarbonetos, ácidos e anidridos, aldeídos, ésteres, álcoois e compostos sulfurados, em ordem de abundância. Contudo, apenas 5% desses compostos são realmente odoríferos e capazes de causar impacto ao sabor do café. Entre esses compostos, as pirazinas destacam-se, seguidas pelos furanos, aldeídos, cetonas, fenóis e compostos sulfurados, entre outros (TOCI; FARAH, 2014; YERETZIAN; JORDAN; LINDINGER, 2003).

Os compostos de alto impacto odorífero presentes no café torrado são considerados sua impressão digital volátil e são relacionados, principalmente,

aos seus sabores e aromas característicos. Esses atributos são considerados os mais importantes fatores de qualidade avaliados para a comercialização e o consumo dos cafés, principalmente os especiais, que apresentam um crescimento significativo na demanda, tanto no mercado nacional quanto no internacional.

Nas últimas décadas, o consumo de cafés especiais apresentou crescimento superior, quando comparado com o café commodity, devido ao interesse dos consumidores por produtos de melhor qualidade. Esses cafés são definidos por apresentarem sabor e aroma excepcionais, bem como características equilibradas de doçura, acidez e corpo. Além das qualidades sensoriais, há um grande interesse por cafés com características do ambiente de produção e localização geográfica (BARBOSA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2009).

Em diversos estudos caracterizaram-se os constituintes voláteis dos cafés especiais de diversas origens geográficas, associando sua qualidade à composição aromática desses cafés (BHUMIRATANA; ADHIKARI; CHAMBERS, 2011; CHEONG et al., 2013; PICCINO et al., 2013; RIBEIRO et al., 2009; RISTICEVIC; CARASEK; PAWLISZYN, 2008). No entanto, são escassos os trabalhos nos quais se avaliou o perfil volátil dos cafés brasileiros, principalmente das quatro regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais, conhecido pelo seu grande potencial na produção de cafés especiais. Essas regiões de produção apresentam grandes variações ambientais que fazem com que a qualidade do café se expresse de maneiras distintas.

Assim, o presente trabalho foi realizado com os objetivos de caracterizar o perfil volátil e sensorial de cafés especiais produzidos nas quatro regiões do estado de Minas Gerais e correlacionar esses compostos com os resultados da análise sensorial.

2 MATERIAIS MÉTODOS

2.1 Matéria-prima e locais de execução

Foram utilizadas, neste experimento, oito amostras de cafés especiais (*Coffea arabica* L.) da safra 2013, obtidas pelos processamentos via seca: amostras Sul de Minas (SMN), Matas de Minas (MMN), Cerrado Mineiro (CN), Chapadas de Minas (CHN), e via úmida: amostras Sul de Minas (SMCD), Matas de Minas (MMCD), Cerrado Mineiro (CCD), Chapadas de Minas (CHCD). As amostras utilizadas são provenientes do X Concurso de Qualidade de Cafés Especiais do Estado de Minas Gerais realizado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER) e foram selecionadas de um total de 1.213, das quais 870 eram provenientes do processamento via seca (natural) e 343 do processamento via úmida (cereja descascado). Inicialmente, todas as amostras foram classificadas por tipo, peneira e umidade, selecionando-se apenas as que apresentaram tipo 2 para melhor, peneira 16 acima, com vazamento máximo de 5% e umidade máxima de 11,5%. As amostras utilizadas neste trabalho foram as que obtiveram notas iguais ou acima de 80 pontos na análise sensorial. A análise sensorial foi realizada no Pólo de Tecnologia em Qualidade do Café/INOVACAFÉ da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As análises cromatográficas foram realizadas na Central de Análises e Prospecção Química (CAPQ), no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.2 Torração do café

A torração das oito amostras de café foi realizada em torrador da marca Probat, modelo Probatino, com capacidade de 1.200 g. A temperatura inicial do

torrador, para todas as amostras, foi de 150 °C e o tempo de torração foi monitorado com o emprego de cronômetro e a temperatura do torrador foi aferida durante todo o processo, utilizando-se o termopar do próprio torrador. A torração das amostras foi padronizada de acordo com Protocolo para Análise Sensorial do Café, Metodologia SCAA (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA – SCAA, 2008).

2.3 Análise sensorial

As amostras foram moídas antes da degustação, na granulometria de 20 mesh. Foram preparadas, no mínimo, 5 xícaras de cada amostra para a degustação, para avaliar a uniformidade, respeitando-se a proporção de 8,25 g por 150 mL de água ou 5,5% m/v. A avaliação foi realizada por 13 provadores credenciados, que receberam todas as amostras codificadas. Para a análise sensorial, as amostras foram avaliadas quanto aos seguintes atributos: corpo (C), acidez (A), doçura (D), gosto remanescente (GR), nota geral (G), sabor (S), balanço (B) e bebida limpa (BL). Cada provador atribuiu nota de 0 a 8 pontos para cada atributo sensorial, somados, ao final, a 36 pontos, resultando, assim, na nota total.

Os cafés classificados como especiais tiveram resultado final com notas acima de 80 pontos.

2.4 Extração dos compostos voláteis

A fibra SPME Divinilbenzen/Carboxen/polidimetilcicloxano (DVB/CAR/PDMS) 50/30 µm Supelco[®] foi utilizada para a extração dos voláteis do *headspace* das amostras de café torrado e moído. Antes do uso, a fibra foi condicionada de acordo com as recomendações do fabricante. Para cada

amostra, foram utilizados 2,5 g de café torrado e moído, acondicionado em vial de 5 mL com selo de politetrafluoretileno (PTFE). A seguir, a fibra SPME foi exposta, por 30 minutos, ao *headspace*, a 70°C. Após esse período, a fibra foi inserida no injetor do cromatógrafo para a dessorção dos voláteis coletados por 63,67 minutos, a 250 °C.

2.5 Análise dos compostos voláteis

As análises cromatográficas foram realizadas em um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas modelo GCMS-QP 2010 PLUS. Foi utilizada a coluna capilar RTX-5MS 30m x 0,25 mm (diâmetro interno) x 0,25 µm (espessura filme), Restec[®], utilizando-se gás hélio como gás de arraste (1ml/min) e injeções em modo *splitless*. A rampa de temperatura utilizada no cromatógrafo foi a seguinte: 40°C/5min; 180°C a 3°C/min; 250°C a 10°C /min por 5min O programa utilizado para a obtenção dos cromatogramas e espectros de massa foi o GCMS Solutions Version 2.50 SU3, Shimadzu[®]. A identificação dos compostos foi realizada numa faixa de 45-650m/z. A identificação dos picos foi realizada pela comparação do espectro de massas obtido com as bibliotecas WILEY 8 e FFNSC 1.2 e índice de retenção linear calculado para cada composto a partir da injeção de padrão n-alcenos (C₃-C₄₀), considerando um nível de similaridade (RSI) maior que 800.

2.6 Análise estatística

Para a interpretação dos dados das análises sensorial e voláteis foi utilizada análise de componentes principais (PCA). Todos os procedimentos foram realizados utilizando-se o programa Chemoface, Version 1.4 (NUNES et al., 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise sensorial

A dispersão espacial das amostras na análise de componentes principais está ilustrada na Figura 1.

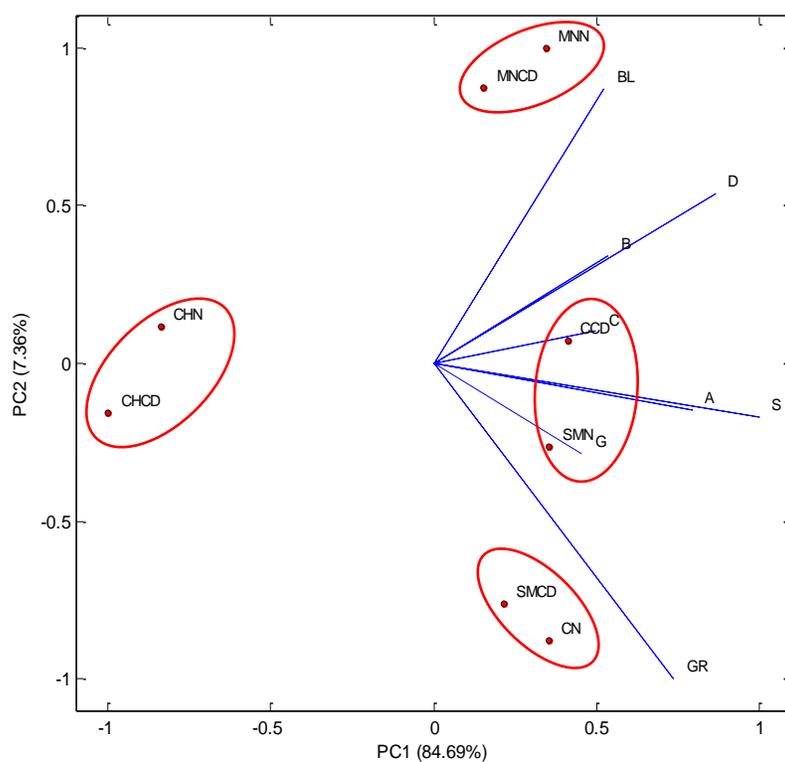


Figura 1 Biplot do perfil sensorial das 8 amostras de cafés especiais. SMN=Sul de Minas natural; SMCD= Sul de Minas cereja descascado; MMN= Matas de Minas natural; MMCD=Matas de Minas cereja descascado; CN= Cerrado Mineiro natural; CCD= Cerrado cereja descascado; CHN= Chapadas de Minas natural; CHCD= Chapadas de Minas cereja descascado; BL =bebida limpa;D=doçura B=balanço; C=corpo; A=acidez; S=sabor; G=notageral; GR=gosto remanescente

Por meio da Figura 1 observa-se que os dois componentes principais explicam 92,05% da variabilidade total dos dados, sendo 84,69% explicados pelo primeiro componente principal (PC1) e 7,36%, pelo segundo componente (PC2).

O primeiro componente principal relaciona-se positivamente com todos os atributos sensoriais avaliados. O segundo componente principal relaciona-se positivamente com bebida limpa (BL), doçura (D), balanço (B), corpo (C) e negativamente com acidez (A), sabor (S), nota geral (G) e gosto remanescente (GR).

A amostra SMN, posicionada no quadrante inferior direito, na direção positiva do eixo X, relaciona-se, principalmente, com nota geral que se refere à impressão do provador quanto à complexidade e ao estímulo despertado, durante e após a degustação (RODARTE, 2008). De acordo com Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA, 2008), um café que demonstre perfeitamente suas características, refletindo um sabor original e particular de qualidade, certamente obterá uma alta pontuação neste atributo.

A amostra CCD, posicionada no quadrante superior esquerdo na direção positiva do eixo X, relaciona-se, principalmente, com corpo, que consiste na percepção tátil do líquido na boca. Um café encorpado é aquele no qual a percepção da oleosidade e da viscosidade é imediata, forte e intensa (SCAA, 2008). Na literatura, estabelece-se uma correlação entre o teor de mucilagem aderida ao endocarpo e o corpo da bebida. As bebidas mais encorpadas são, geralmente, aquelas em que o teor de mucilagem aderida ao pergaminho foi maior durante o pré-processamento (natural e cereja descascado). Os cafés desmucilados e despolpados, nos quais a mucilagem é removida, são menos encorpados, quando comparados ao natural e ao cereja descascado. No café natural, a manutenção da casca proporciona a manutenção integral da mucilagem, fazendo com que a bebida seja mais encorpada, comparada ao café

cereja descascado (LEITE, 2002; MORI, 2001; RODARTE, 2008). No entanto, Toledo e Barbosa (1998) mencionaram que é possível que cafés cerejas descascados de alta qualidade apresentem bebidas encorpadas similares às obtidas com cafés naturais.

As maiores pontuações das amostras SMN e CCD para cada tipo de processamento avaliado (Tabela 1) podem ser atribuídas a uma tendência de agrupamento entre essas amostras pelos atributos sensoriais sabor e acidez. No entanto, de acordo com o tamanho dos vetores, esses cafés se assemelham mais pelo sabor do que pela acidez. O sabor é o principal critério utilizado por especialistas para avaliação da qualidade do café, e sua pontuação relata a intensidade, a qualidade e a complexidade desse atributo na bebida (MASI et al., 2013; SCAA, 2008).

Tabela 1 Notas finais das amostras estudadas em cada tipo de processamento avaliado

Regiões de Minas	Notas finais	
	Natural	Cereja descascado
Sul de Minas	86,85	85,78
Matas de Minas	85,62	86,38
Cerrado	86,46	85,77
Chapadas	81,92	80,86

O atributo sensorial gosto remanescente relaciona-se às amostras CN e SMCD, localizadas no quadrante inferior direito, na direção positiva do eixo X. Possivelmente, esse atributo proporcionou uma agradável sensação ao paladar, o que conferiu àquelas amostras os segundos lugares nas categorias natural e cereja descascado respectivamente.

As amostras MMN e MMCD, posicionadas no quadrante superior direito na direção positiva do eixo Y, relacionam-se, principalmente, ao atributo bebida limpa que discriminou os cafés da região das Matas de Minas para os

dois tipos de processamento avaliados. Esse atributo refere-se à falta de interferência de impressões negativas desde a primeira ingestão à sensação de finalização, refletindo a transparência da bebida (SCAA, 2008).

Os cafés produzidos na região das Chapadas de Minas, que obtiveram as menores notas sensoriais finais para os processamentos avaliados, encontram-se do lado oposto aos vetores e não se relacionam com nenhum atributo sensorial, o que impossibilita estabelecer qualquer relação sobre a influência desses parâmetros na qualidade da bebida desses cafés.

3.2 Compostos voláteis

Os 142 diferentes compostos voláteis identificados nas amostras de cafés torrados e moídos estão agrupados em classes químicas, para simplificar a sua comparação (Tabelas 2 e 3). As classes de compostos predominantes constituem os furanos, as pirazinas e as cetonas, em ordem de abundância. Esse mesmo perfil de voláteis majoritários também foi relatado por outros autores (CHEONG et al., 2013; FLAMENT, 2002; PICCINO et al., 2013; RODARTE, 2008).

Os furanos são compostos heterocíclicos provenientes, principalmente, da degradação de carboidratos e incluem funções como aldeídos, cetonas, ésteres, álcoois, éteres, ácidos e tióis (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999). Mais de 140 compostos furânicos já foram identificados, sendo dez deles considerados marcantes para o aroma do café (AKIYAMA et al., 2005; CZERNY; MAYER; GROSCH, 1999; SANZ et al., 2002; TOCI; FARAH, 2014). Neste trabalho, furanos majoritários, como furfural, 2-furanmethanol acetate e 5-methylfurfural foram identificados (Tabelas 2 e 3). No entanto, apenas o 2-furanmethanolé considerado um potente odorante do café torrado e encontra-se presente em todas as amostras estudadas. Esse fato pode ser

atribuído à extrema volatilidade desses compostos, o que dificulta a identificação dos mesmos (PETISCA et al., 2014). Diversos trabalhos que caracterizaram o perfil volátil de café torrado identificaram 2-furanmethanol, cujo aroma é descrito como caramelo (CHEONG et al., 2013; PICCINO et al., 2013; RODRIGUES; PORTUGAL; NOGUEIRA, 2012).

As pirazinas (Tabelas 2 e 3) são, junto com os furanos, a mais importante classe química de aroma do café torrado e destacam-se por serem os compostos de maior impacto odorífero. Elas são produzidas por meio de pirólise de ácidos hidroxâmico e aproximadamente 100 já foram identificadas no café. Entretanto, apenas treze são consideradas marcantes para o seu aroma (AKIYAMA et al., 2005; CZERNY; MAYER; GROSCH, 1999; SANZ et al., 2002; TOCI; FARAH, 2014). Destes compostos, pyrazine, 2,5-dimethyl-; pyrazine, 2,3-dimethyl-; pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-; pyrazine, 2-ethyl-3,5-dimethyl-; pyrazine, trimethyl-; pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl- estão presentes na maioria das amostras estudadas e seus aromas são relatados como nozes e chocolate, nozes e torrado, torrado e castanha, amadeirado e torrado, nozes e torrado, avelã e torrado, respectivamente. Em outros trabalhos com cafés especiais também foram identificados esses compostos (CHEONG et al., 2013; PICCINO et al., 2013), podendo os mesmos serem considerados potenciais indicadores de qualidade.

As cetonas (Tabelas 2 e 3) são formadas, principalmente, por pirólise de carboidratos e podem contribuir positivamente ou negativamente para o aroma do café. Entre as 91 cetonas descritas na literatura, quatro são conhecidas como marcantes para o aroma do café (TOCI; FARAH, 2014). Entre elas, a 2,3-butanedione e a 2,3-pentanedione foram identificadas em todas as amostras estudadas e são associadas sensorialmente ao aroma de manteiga e a β -damascenone só não foi identificada na amostra MMCD e está relacionada a aroma frutado, frutas vermelhas, amadeirado e doce. Risticovic, Carasek e

Pawliszyn (2008) caracterizaram cafés de diferentes origens geográficas, também identificaram esses compostos e concluíram que eles estão entre os 29 compostos aromáticos que contribuíram para a discriminação de suas amostras.

Os pirróis (Tabelas 2 e 3) são originados por diferentes processos, como reação de Maillard, caramelização, pirólise e degradação de trigonelina (BALTES; BOCHMANN, 1987), tendo, aproximadamente, oitenta compostos já sido identificados no café. Os pirróis são considerados os compostos menos associados ao aroma do café, entretanto, alguns deles são conhecidos por serem responsáveis por um característico aroma doce e levemente queimado (FLAMENT, 2002). Os compostos 1H-pyrrole, 1-methyl-, 1H-pyrrole-2-carboxaldehyde, ethanone, 1-(1-methyl-1H-pyrrol-2-yl)-, identificados no presente estudo, também foram citados por Piccino et al. (2013), que avaliaram a composição aromática de cafés especiais. Porém, esses compostos não foram classificados como potentes odorantes do café torrado, o que confirma seus baixos impactos odoríferos. Embora o indole identificado nas amostras CN e SMCD seja descrito como potencial indicador de baixa qualidade do café (SPADONE; TAKEOKA; LIARDON, 1990; TOCI; FARAH, 2014), tem seu aroma relatado como floral, quando encontrado em baixas concentrações (FLAMENT, 2002).

As piridinas (Tabelas 2 e 3) são formadas, principalmente, por meio de pirólise da trigonelina, havendo poucas evidências a respeito de sua contribuição para o aroma do café torrado. Na literatura citam-se apenas 27 piridinas, sendo as mesmas responsáveis por notas de amargor, adstringência, torrado e queimado (FLAMENT, 2002). No presente trabalho, quatro piridinas foram identificadas, contudo, nenhuma é conhecida como um importante composto aromático do café torrado.

Os fenóis (Tabelas 2 e 3) são originados, principalmente, da degradação dos ácidos clorogênicos (cafeico, ferúlico, p-cumárico e ácido quínico) durante o

processo de torração do café (MOON; SHIBAMOTO, 2010). A sua importante contribuição odorífera é associada a características negativas, como fumaça, madeira, tempero, couro ou medicamento. No entanto, em baixas concentrações, são descritos como doce, floral, baunilha, especiarias e cravo (FLAMENT, 2002).

Entre os 80 compostos fenólicos descritos na literatura, 4-vinil-guaiacol, guaiacol, fenol e os isômeros do cresol (*o*-, *m*-, *p*-) são conhecidos como os fenóis majoritários do café torrado (MOREIRA et al., 2000). Os compostos 4-vinil-guaiacol e fenol foram identificados em todas as amostras estudadas e também foram citados em trabalhos que caracterizaram o perfil volátil de cafés especiais (CHEONG et al., 2013; RODARTE, 2008). Piccino et al. (2013) identificaram o 4-vinil-guaiacol e concluíram que ele é potente odorante da bebida do café especial Bourbon Pointu.

Tabela 2 Tentativa de identificação dos compostos voláteis encontrados no *headspace* das amostras de cafés torrados e moídos provenientes do processamento via seca

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
Ácidos							
1	Acetic acid	-	B	36933603	39573977	1651490	-
2	Propanoic acid	-	B	-	-	-	-
Álcoois							
1	Ethanol	-	B	-	852139	-	-
2	Maltol	1137	A	5707968	2131776	5646252	-
3	Ethanol, 2-mercapto-	-	B	1330144	5339124	-	-
4	Linalool	1222	A	-	-	494610	-
5	Ethyl maltol	1192	A	1430740	4788030	1716516	1544312
6	Cyclohexaneethanol	-	B	-	-	1007380	-
Éter							
1	Ethyl ether	-	B	-	-	-	-
2	Dimethyl ether	-	B	-	-	94049	-
Aldeídos							
1	2-(5-methyl-2-furyl)propanal	-	B	-	-	-	-
2	Propanal, 2-methyl-	-	B	-	644318	-	-
3	Butanal, 3-methyl-	-	B	-	-	-	-
4	Butanal	-	B	654967	-	181367	468532
5	Butanal, 2-methyl-	-	B	660805	2402248	2027784	6535454
6	Benzeneacetaldehyde	-	B	-	-	-	-
7	Benzaldehyde	961	A	3057702	1321679	-	-
8	Nonanal	-	B	94898	-	-	-
Cetonas							
1	2,3-Butanedione	-	B	742032	715952	704215	708813
2	2,3-Pentanedione	-	B	4589351	4398505	4247913	4284164
3	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	-	B	-	-	-	-

Tabela 2, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
4	3,6-Heptanedione	1041	A	-	253511	392833	-
5	1-Hydroxy-2-butanone	-	B	2663146	2742075	3028317	2717842
6	3-Hexanone, 2-methyl-	-	B	248782	-	-	-
7	3-Pentanone, 2-methyl-	982	A	48001239	862012	47154693	45696058
8	Spiro[4.5]decan-2-one	1179	A	1800553	4512774	1403794	1871165
9	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	-	B	-	843542	-	-
10	□-Damascenone	1381	A	2629044	182663	2417366	2508967
11	Cyclohexane-1,2-dione <3-methyl>	-	B	-	1443451	-	-
12	Gamma-butyrolactone	903	A	4932373	-	8921089	89554
Éster							
1	2-Butanone, 1-(acetyloxy)-	985	A	3223577	43989258	2582468	2840631
2	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	-	B	-	-	-	-
Fenóis							
1	Phenol	-	B	501919	386425	352676	385429
2	Phenol, 2-methoxy-	1102	A	16389838	554788	13033929	14827755
3	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1285	A	481529	923916	2421284	3062497
4	Ethanone, 1-(2,5 dihydroxyphenyl)-	-	B	-	-	-	-
5	4-vinil-guaiacol	-	B	5823202	7947145	8431962	7551847
Furanos							
1	Furan, 2-methyl-	-	A	3301288	1762577	1651490	2343190
2	Beta.-d4-tetrahydrofuran	-	B	-	990347	-	-
3	Furan, 2,5-dimethyl-	-	B	389725	195243	105635	256931
4	3(2H)-Furanone, dihydro-2-methyl-	-	B	-	-	-	-
5	Furfural	805	A	1462029	142654	1087338	1492356
6	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	824	A	22286904	2476104	21529525	-

Tabela 2, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
7	2,5-Dimethyl-3(2H)-furanone	855	A	408377	-	-	-
8	2-Furanmethanol, acetate	874	A	82859439	42233730	83410739	90450957
9	2-Furanmethanol	909	A	867566	3737993	1088587	887862
10	5-Hydroxymethylfurfural	-	B	-	-	-	-
11	Furan, 2-pentyl-	994	A	225721	452178	905366	697220
12	1-Propanone, 1-(2-furanyl)-	-	B	1203783	339828	754577	690538
13	5-methyl-2-propylfuran	-	-	-	-	-	-
14	1-Propanone, 1-(5-methyl-2-furanyl)-	-	-	-	-	-	-
15	2-n-Heptylfuran	1176	A	5034559	1848264	4675502	4891620
16	Furan, 2-(2-furanylmethyl)-5-methyl-	1182	A	2842894	1199884	3611061	4292423
17	1-(5-methyl-2-furanyl)-2-hydroxyethanone	-	B	3013862	-	-	-
18	Furan, 2,2'-[oxybis(methylene)]bis-	-	B	1053275	-	-	695248
19	2-Acetyl-5-methylfuran	-	B	335058	-	-	-
20	2-Furanmethanethiol, 5-methyl-	-	B	-	-	-	-
21	1,4-Bis-furan-2-ylmethyl-piperazine	-	B	-	-	-	-
22	Butanoic acid, 3-methyl-, 2-furanylmethyl	1223	A	1304509	1478269	1550756	2338644
23	2H-Pyran, 3,4-dihydro-	-	B	-	-	-	-
24	4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	-	B	-	-	-	1750565
Pirazinas							
1	Pyrazine	-	B	3202411	3621810	2878217	3730025
2	Pyrazine, methyl-	810	A	4032677	872518	2754154	3556379
3	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	832	A	2278367	26699647	1472972	-
4	Pyrazine, 2,3-dimethyl-	839	A	34962440	1322696	46572028	-
5	2,6-Dimethylpyrazine	881	A	4427110	79920380	3528091	3462439
6	3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine	920	A	23809532	1688015	26024240	27958493

Tabela 2, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
7	2-Acetyl-3-ethylpyrazine	-	B	-	-	-	-
8	Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	-	B	-	-	-	-
9	Pyrazine, 2-ethyl-3,5-dimethyl-	927	A	1839920	27116459	2640982	2954732
10	2-Acetylpyrazine	-	B	-	-	-	-
11	Pyrazine, trimethyl-	1018	A	-	-	-	432988
12	Pyrazine, 2-ethenyl-6-methyl-	-	B	-	-	1710627	-
13	Pyrazine, 2-methyl-6-(1-propenyl)-, (E)-	1110	A	1553566	11754942	1563801	2358997
14	2-Acetyl-3-methylpyrazine	1126	A	2740725	3621254	3078833	3556030
15	2-Isobutyl-3-methylpyrazine	1146	A	233688	4337138	117333	150524
16	Pyrazine, 3,5-diethyl-2-methyl-	1163	A	550211	263841	560659	589492
17	1-Methylpyrrolo[1,2-a]pyrazine	1211	A	748055	-	-	-
18	2-Isoamyl-6-methylpyrazine	-	B	-	-	-	-
19	5H-5-Methyl-6,7-dihydrocyclopentapyrazine	1150	A	1337802	2334614	2650418	1890652
Piridinas							
1	Pyridine, 3-ethyl-	961	A	-	-	3286634	2945467
2	4(H)-Pyridine, N-acetyl-	-	B	-	-	-	-
3	Ethanone, 1-(2-pyridinyl)-	1044	A	313292	-	-	-
4	Pyridine	-	B	19352527	12066655	13424225	21481455
Pirróis							
1	Pyrrole	-	B	-	-	-	-
2	1H-Pyrrole, 1-methyl-	-	B	211514	-	-	1606654
3	1H-pyrrole-2-carboxaldehyde, 1-methyl-	-	B	-	-	1214551	1161452
4	1H-Pyrrole, 3-ethyl-2,4-dimethyl-	988	A	-	2648580	-	-
5	1H-pyrrole-2-carboxaldehyde	1166	A	810931	347833	519192	742892
6	2-Formyl-4,5-dimethyl-pyrrole	1169	A	1770014	461773	2286007	1593024

Tabela 2, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
7	1H-Pyrrole, 1-(2-furanylmethyl)-	-	B	-	-	-	-
8	1-(Fur-2-ylmethyl)-2-formyl-pyrrole	-	B	-	531638	-	-
9	Ethanone, 1-(1-methyl-1H-pyrrol-2-yl)-	913	A	3307315	6936012	2787090	2849390
10	Indole	1314	A	-	-	2221930	-
Outros							
1	Nitric acid, ethyl ester	-	B	-	-	-	-
2	2-Methylpropan-2-amine	-	B	2114166	-	1395659	2185723
3	Carbon disulfide	-	B	-	-	-	679905
4	Propylene oxide	-	B	-	1414762	-	-
5	Hydrazine, 1,2-dimethyl-	-	B	-	-	-	38823910
6	Hydrazine, methyl-	-	B	-	-	1719467	-
7	Dimethyl sulfone	-	B	86199	62106	101997	-
8	1-Propylmethyl ether	-	B	-	1114463	1719952	-
9	Acetoin	-	B	2691523	3046763	2549812	3468068
10	Piperidine, 1-methyl-	-	-	-	-	-	-
11	1-(2-methyl-1-propenyl) aziridine	-	B	-	-	-	-
12	4-formyl-2,6-dimethoxyphenyl 2-furoate	-	B	-	-	-	-
13	4-tert-butyl-1-methylcyclohexyl bromide	-	B	-	-	1296346	1017312
14	3-isopropyl-1-methyl-1-cyclohexene	-	B	-	-	-	-
15	Cyclohexane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	-	B	1114107	-	-	-
16	Triethyl phosphate	-	B	4583725	4545318	7448403	6264401
17	bicyclo[2.2.1]heptane, 2-(3-buten-2-yl)-, exo/endo	-	B	-	-	-	-
18	6-methyl-3-pyridinyl acetate	-	B	-	-	-	-
19	cyclohex-1-enyl-dimethyl-amine	-	B	-	-	179365	-
20	3,3-dimethyl-4,5,6-trithiaheptan-1-ol	-	B	-	-	1082240	-

Tabela 2, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
21	1-butoxy-3,3,3-trimethyl-1	-	B	1761969	1531145	1181569	1676250
22	1-[2-(isobutyryloxy)-1-methylethyl]-2,2-dime	-	B	-	960902	-	-
23	Difurfuryl disulfide	-	B	-	-	667482	-
24	(+)- α -Cadinene	1510	A	681272	492275	509294	846404
25	5-isobutylnonane	-	B	-	-	-	-
26	1-isopropoxy-3,3,3-trim	-	B	-	-	-	-
27	butylated hydroxytoluene	-	B	-	-	-	-
28	3',4'-dihydro-2'-(morpholin-4-yl)-5',7'-dinitro	-	B	65528	-	-	-
29	3,4-dihydroxymandelic acid-tetratms	-	B	-	653042	180526	-
30	1,3,7-trimethylpurine-2,6-dione	-	B	-	-	-	-
31	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	-	B	671316	440389	395851	1945479
32	2,2,4,4,6,6,8,8,10,10,12,12,14,14,16,16,18,18,20,20icosamethylcyclodecasiloxane	-	B	151889	-	-	482242
33	2,8,8-Trimethyldecane	-	B	907311	-	-	-
34	Nonadecane	-	B	313374	-	-	-
35	Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	-	B	407930	-	-	-
36	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-	-	B	1576966	-	-	-
37	Hexadecane	-	B	252239	-	-	-
38	Octadecane	-	B	130764	205114	156341	-
39	Decane, 2-methyl-	-	B	-	165422	-	-
40	Tetradecane	-	B	804646	-	670752	465596
41	Dodecane	-	B	-	-	-	-
42	Tridecane	1401	A	389565	-	-	-
43	3,3,6-Trimethyldecane	-	B	-	-	402223	501006

Tabela 2, conclusão

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMN	MMN	CN	CHN
44	6-Ethyl-2-methyloctane	-	B	-	-	-	-
45	2,6,6-Trimethyloctane	-	B	-	-	-	-
46	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl	-	B	-	-	-	-
47	Methanethiol	-	B	-	762844	749223	1195427
48	2-Propanamine	-	B	-	-	-	-

Tabela 3 Tentativa de identificação dos compostos voláteis encontrados no *headspace* das amostras de cafés torrados e moídos provenientes do processamento via úmida

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
Ácidos							
1	Acetic acid	-	B	-	1686197	42221229	22107240
2	Propanoic acid	-	B	-	-	1284532	1308629
Álcoois							
1	Ethanol	-	B	-	-	-	-
2	Maltol	1137	A	5799139	2433111	691772	-
3	Ethanol, 2-mercapto-	-	B	1419062	2145348	1271388	1917529
4	Linalool	1222	A	586372	-	-	-
5	Ethyl maltol	1192	A	1816853	-	1628901	6801601
6	Cyclohexaneethanol	-	B	-	4314159	-	-
Éter							
1	Ethyl ether	-	B	-	-	-	432836
2	Dimethyl ether	-	B	-	-	-	-
Aldeídos							
1	2-(5-methyl-2-furyl)propanal	-	B	-	-	292823	-
2	Propanal, 2-methyl-	-	B	-	-	-	350724
3	Butanal, 3-methyl-	-	B	-	-	-	755167
4	Butanal	-	B	310526	760869	368386	-
5	Butanal, 2-methyl-	-	B	6724419	1035205	2846380	5635337
6	Benzeneacetaldehyde	-	B	-	242858	-	-
7	Benzaldehyde	961	A	-	2541090	507605	-
8	Nonanal	-	B	-	-	-	-
Cetonas							
1	2,3-Butanedione	-	B	745912	2395648	660120	396106
2	2,3-Pentanedione	-	B	4722677	154129	4741783	3613111
3	2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimethyl-	-	B	-	488310	-	-

Tabela 3, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
4	3,6-Heptanedione	1041	A	-	888024	-	432323
5	1-Hydroxy-2-butanone	-	B	3146460	-	3180494	1549024
6	3-Hexanone, 2-methyl-	-	B	-	-	-	-
7	3-Pentanone, 2-methyl-	982	A	5072178	885306	50107668	40473333
8	Spiro[4.5]decan-2-one	1179	A	2067177	6741688	4379167	2829481
9	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	-	B	-	292262	-	-
10	β -Damascenone	1381	A	3392572	-	3031918	1625394
11	Cyclohexane-1,2-dione <3-methyl>	-	B	-	1366727	-	-
12	Gamma-butyrolactone	903	A	-	-	-	-
Éster							
1	2-Butanone, 1-(acetyloxy)-	985	A	2514589	49115079	2990826	3229156
2	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	-	B	490194	28417	263660	-
Fenóis							
1	Phenol	-	B	566840	4181977	605686	782158
2	Phenol, 2-methoxy-	1102	A	14610723	-	16338802	-
3	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	1285	A	6930937	-	3085881	4542173
4	Ethanone, 1-(2,5 dihydroxyphenyl)-	-	B	-	2172303	-	-
5	4-vinil-guaiacol	-	B	9271828	569125	9795435	10668827
Furanos							
1	Furan, 2-methyl-	-	A	2470111	42183606	2479659	-
2	Beta.-d4-tetrahydrofuran	-	B	-	-	2084658	3810999
3	Furan, 2,5-dimethyl-	-	B	255341	3667723	359458	197516
4	3(2H)-Furanone, dihydro-2-methyl-	-	B	-	-	4687520	4776655
5	Furfural	805	A	1480464	3308113	1456614	1809267
6	2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	824	A	2321172	3189430	22862226	222992

Tabela 3, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
7	2,5-Dimethyl-3(2H)-furanone	855	A	280090	53857466	338380	236387
8	2-Furanmethanol, acetate	874	A	8909519	232011	84891150	-
9	2-Furanmethanol	909	A	1721985	4866532	1024352	435713
10	5-Hydroxymethylfurfural	-	B	477571	-	-	-
11	Furan, 2-pentyl-	994	A	-	267623	992559	-
12	1-Propanone, 1-(2-furanyl)-	-	B	909104	1987161	1105593	-
13	5-methyl-2-propylfuran	-	-	-	-	-	1044149
14	1-Propanone, 1-(5-methyl-2-furanyl)-	-	-	-	-	-	1884152
15	2-n-Heptylfuran	1176	A	5796912	2177636	6200925	-
16	Furan, 2-(2-furanylmethyl)-5-methyl-	1182	A	3586484	2009159	-	5694390
17	1-(5-methyl-2-furanyl)-2-hydroxyethanone	-	B	-	-	7350921	-
18	Furan, 2,2'-(oxybis(methylene))bis-	-	B	-	10826607	1292212	3037783
19	2-Acetyl-5-methylfuran	-	B	-	-	-	-
20	2-Furanmethanethiol, 5-methyl-	-	B	333093	-	-	-
21	1,4-Bis-furan-2-ylmethyl-piperazine	-	B	-	-	-	1071164
22	Butanoic acid, 3-methyl-, 2-furanylmethyl	1223	A	-	4936151	2104916	5803776
23	2H-Pyran, 3,4-dihydro-	-	B	-	-	-	125119
24	4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	-	B	-	-	-	-
Pirazinas							
1	Pyrazine	-	B	3017585	1142669	3364329	5329061
2	Pyrazine, methyl-	810	A	3945493	1128079	-	-
3	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	832	A	667512	-	1971292	28674117
4	Pyrazine, 2,3-dimethyl-	839	A	4627088	24926446	45519177	21207706
5	2,6-Dimethylpyrazine	881	A	4851974	93862586	4270197	4200390
6	3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine	920	A	2587754	3156710	24830827	26690999

Tabela 3, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
7	2-Acetyl-3-ethylpyrazine	-	B	-	-	-	745044
8	Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	-	B	-	-	561316	1209566
9	Pyrazine, 2-ethyl-3,5-dimethyl-	927	A	2855704	24752040	3078201	3487688
10	2-Acetylpyrazine	-	B	-	-	362626	-
11	Pyrazine, trimethyl-	1018	A	477580	-	-	-
12	Pyrazine, 2-ethenyl-6-methyl-	-	B	-	-	-	2339092
13	Pyrazine, 2-methyl-6-(1-propenyl)-, (E)-	1110	A	2585555	1336623	2134473	3437914
14	2-Acetyl-3-methylpyrazine	1126	A	3373458	-	3397349	4608740
15	2-Isobutyl-3-methylpyrazine	1146	A	780851	1002296	-	622069
16	Pyrazine, 3,5-diethyl-2-methyl-	1163	A	755293	1297750	794615	-
17	1-Methylpyrrolo[1,2-a]pyrazine	1211	A	532250	-	108340	993523
18	2-Isoamyl-6-methylpyrazine	-	B	-	800925	-	-
19	5H-5-Methyl-6,7-dihydrocyclopentapyrazine	1150	A	2023311	6135702	-	-
Piridinas							
1	Pyridine, 3-ethyl-	961	A	3128913	446525	3715490	2721524
2	4(H)-Pyridine, N-acetyl-	-	B	483037	-	-	-
3	Ethanone, 1-(2-pyridinyl)-	1044	A	-	-	-	-
4	Pyridine	-	B	2054523	1324823	16450713	35393497
Pirróis							
1	Pyrrole	-	B	-	-	-	924367
2	1H-Pyrrole, 1-methyl-	-	B	1525893	20128004	-	860278
3	1H-pyrrole-2-carboxaldehyde, 1-methyl-	-	B	140700	1075949	-	-
4	1H-Pyrrole, 3-ethyl-2,4-dimethyl-	988	A	-	3430455	522332	433469
5	1H-pyrrole-2-carboxaldehyde	1166	A	799835	645028	808372	676623
6	2-Formyl-4,5-dimethyl-pyrrole	1169	A	2168360	853149	2471618	1201359

Tabela 3, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
7	1H-Pyrrole, 1-(2-furanylmethyl)-	-	B	-	-	-	-
8	1-(Fur-2-ylmethyl)-2-formyl-pyrrole	-	B	-	1458897	-	-
9	Ethanone, 1-(1-methyl-1H-pyrrol-2-yl)-	913	A	3357583	822662	3305564	2508131
10	Indole	1314	A	2255234	-	-	-
Outros							
1	Nitric acid, ethyl ester	-	B	-	-	-	-
2	2-Methylpropan-2-amine	-	B	-	30749	-	2939535
3	Carbon disulfide	-	B	-	-	-	-
4	Propylene oxide	-	B	-	-	-	-
5	Hydrazine, 1,2-dimethyl-	-	B	3745549	-	-	-
6	Hydrazine, methyl-	-	B	-	-	-	-
7	Dimethyl sulfone	-	B	-	1062838	-	-
8	1-Propylmethyl ether	-	B	-	3656251	974103	-
9	Acetoin	-	B	3472282	458587	3126303	1994549
10	Piperidine, 1-methyl-	-	-	-	-	-	2722140
11	1-(2-methyl-1-propenyl) aziridine	-	B	-	-	-	2772405
12	4-formyl-2,6-dimethoxyphenyl 2-furoate	-	B	404643	-	-	-
13	4-tert-butyl-1-methylcyclohexyl bromide	-	B	1626702	-	2205092	1295588
14	3-isopropyl-1-methyl-1-cyclohexene	-	B	-	-	1325781	1682237
15	Cyclohexane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	-	B	-	-	-	-
16	Triethyl phosphate	-	B	7495589	-	6663064	5590844
17	bicyclo[2.2.1]heptane, 2-(3-buten-2-yl)-, exo/endo	-	B	-	-	568779	-
18	6-methyl-3-pyridinyl acetate	-	B	1459006	-	1907493	-
19	cyclohex-1-enyl-dimethyl-amine	-	B	-	-	-	-
20	3,3-dimethyl-4,5,6-trithiaheptan-1-ol	-	B	881126	-	-	-

Tabela 3, continuação

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
21	1-butoxy-3,3,3-trimethyl-1	-	B	1448504	-	-	-
22	1-[2-(isobutyryloxy)-1-methylethyl]-2,2-dime	-	B	-	-	-	-
23	Difurfuryl disulfide	-	B	1157441	-	-	-
24	(+)- δ -Cadinene	1510	A	1287348	258792	-	2012837
25	5-isobutylnonane	-	B	-	-	1231087	143235
26	1-isopropoxy-3,3,3-trim	-	B	-	-	-	1953263
27	butylated hydroxytoluene	-	B	59753	-	-	-
28	3',4'-dihydro-2'-(morpholin-4-yl)-5',7'-dinitro	-	B	-	-	-	-
29	3,4-dihydroxymandelic acid-tetratms	-	B	669032	60809	190661	-
30	1,3,7-trimethylpurine-2,6-dione	-	B	-	-	-	1085437
31	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	-	B	491235	725024	-	600701
32	2,2,4,4,6,6,8,8,10,10,12,12,14,14,16,16,18,18,20,20icosamethylcyclodecasiloxane	-	B	-	-	-	-
33	2,8,8-Trimethyldecane	-	B	-	-	-	-
34	Nonadecane	-	B	-	-	-	-
35	Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	-	B	-	-	-	-
36	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-	-	B	-	-	-	-
37	Hexadecane	-	B	-	-	-	-
38	Octadecane	-	B	151010	221107	-	-
39	Decane, 2-methyl-	-	B	-	-	-	-
40	Tetradecane	-	B	588155	893610	-	-
41	Dodecane	-	B	-	1613956	-	-
42	Tridecane	1401	A	-	-	-	-
43	3,3,6-Trimethyldecane	-	B	-	-	-	-

Tabela 3, conclusão

	Nome do composto	Área dos compostos					
		IRL	ID	SMCD	MMCD	CCD	CHCD
44	6-Ethyl-2-methyloctane	-	B	411580	-	-	-
45	2,6,6-Trimethyloctane	-	B	809449	-	-	-
46	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl	-	B	-	546266	-	-
47	Methanethiol	-	B	-	-	-	-
48	2-Propanamine	-	B	2170187	-	-	-

IRL (Índice de retenção linear): Calculado com o uso de padrão de hidrocarbonetos (n-alcanos C₈-C₄₀)

ID (Identificação): **A**: literatura (RISTICEVIC; CARASEK; PAWLISZYN, 2008; RODRIGUES; PORTUGAL; NOGUEIRA, 2012),

B: Bibliotecas WILEY 8 e FFNSC 1.2

Os álcoois (Tabelas 2 e 3) são alguns dos produtos secundários da degradação oxidativa de lipídios no café torrado e sua síntese pode ocorrer por meio da quebra de carotenoides durante o processo de torração. Os únicos álcoois classificados como potentes odorantes do café torrado são o linalool e o 2-phenylethanol (FLAMENT, 2002). Entre eles, o linalool foi identificado nas amostras CN e SMCD (Tabela 2). Embora esse composto tenha sido considerado um potencial marcador de defeito do café torrado (TOCI; FARAH, 2014), ele foi identificado como potente odorante da bebida de café especial e seu aroma foi descrito como floral e frutado (cítrico) (PICCINO et al., 2013).

Os ácidos carboxílicos (Tabelas 2 e 3) podem apresentar odores distintos, responsáveis pelos aromas agradáveis, como queijo, creme e chocolate, ou proporcionar aromas desagradáveis, como o de vinagre. São sugeridas diversas vias para a formação desses constituintes, como degradação de lipídios, degradação térmica de ésteres e a auto-oxidação de aldeídos e cetonas (FLAMENT, 2002). Os principais ácidos carboxílicos voláteis identificados no café torrado são o acético, o fórmico e o propanoico (MOREIRA et al., 2000). Os ácidos acético e propanoico foram os únicos identificados nas amostras estudadas e apresentam aromas pungente e queijo, respectivamente. Esses compostos também foram identificados em outros estudos que caracterizaram o perfil aromático de cafés especiais, no entanto, em baixas concentrações (CHEONG et al., 2013; PICCINO et al., 2013; RISTICEVIC; CARASEK; PAWLISZYN, 2008) o que, possivelmente, não prejudicou a qualidade sensorial da bebida.

Os aldeídos (Tabelas 2 e 3) são formados pela degradação oxidativa de aminoácidos durante a sua reação com açúcares, a altas temperaturas, e por meio da reação entre aminoácidos e polifenóis, na presença da enzima polifenol oxidase, em temperaturas normais (FLAMENT, 2002). Entre os 44 aldeídos citados na literatura, sete são de impacto para café torrado. No presente estudo, o

propanal, 2-methyl-; butanal, 2-methyl-; butanal, 3-methyl- e benzeneacetaldehyde foi identificado em todas as amostras avaliadas. O propanal, 2-methyl-, presente nas amostras MMN e CHCD e o butanal, 2-methyl-, identificado em todas as amostras, são considerados componentes-chave para o aroma da bebida do café, e aromas agradáveis são descritos para esses compostos, quando presentes em baixas concentrações. Piccino et al. (2013) identificaram esses compostos como potentes odorantes do café Bourbon e descreveram seus aromas como chocolate. O benzeneacetaldehyde, identificado na amostra MMCD, é considerado um potente odorante do café e seu aroma descrito como rosas e mel (PICCINO et al., 2013). O butanal, 3-methyl-, encontrado apenas na amostra CHCD, é considerado o aldeído volátil mais importante presente no café. Embora esse composto apresente aromas agradáveis, como malte e chocolate, e considerado um potente odorante do café, também pode proporcionar odores desagradáveis, como acre e pungente, se presente em elevadas concentrações no café torrado (FLAMENT, 2002; PICCINO et al., 2013).

Os ésteres (Tabelas 2 e 3) estão presentes em baixas concentrações no perfil volátil do café torrado, sendo poucas as informações a respeito desses compostos (TOCI; FARAH, 2014). Entre os 55 ésteres citados na literatura, somente butanoic acid, 2-methyl- ethyl ester, butanoic acid, 3-methyl-ethyl ester, cyclohexanecarboxylic acid e ethyl ester contribuem para o aroma *off-flavor* do café. Esses compostos são produzidos pelo defeito verde do café (FLAMENT, 2002). Nenhum dos compostos identificados no presente trabalho contribui para o aroma do café torrado.

Outros compostos (Tabelas 2 e 3), como hidrocarbonetos (alcanos e alcenos), produzidos durante o processo de torração, têm odor típico que pode contribuir para o aroma dos alimentos. No entanto, seu poder odorante no café se restringe aos compostos voláteis alifáticos, tais como pentadine, isoprene, 5-

methyl-1,3-cyclohexadiene e terpenos. No presente estudo, nenhum dos hidrocarbonetos identificados é considerado de impacto para o aroma final da bebida.

Para melhor entendimento da relação das amostras e variáveis identificadas, foi empregado o método de análise de componentes principais (PCA) que, por meio da direção e do tamanho dos vetores, indica suas contribuições para a discriminação dos cafés especiais. A dispersão espacial das amostras na análise de componentes principais está ilustrada na Figura 2.

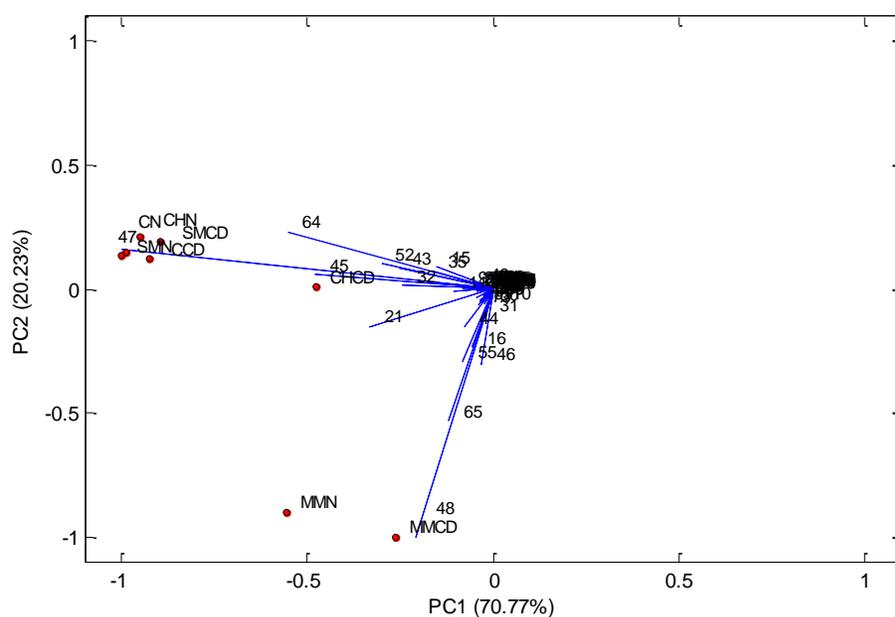


Figura 2 Biplot do perfil volátil das 8 amostras de cafés especiais

Por meio da Figura 2 observa-se que os dois componentes principais esclarecem 91% da variabilidade total dos dados, sendo 70,77% explicados pelo primeiro componente principal (PC1) e 20,23% pelo segundo componente (PC2).

As amostras MMN e MMCD, posicionadas no quadrante inferior esquerdo, na direção negativa do eixo Y, foram relacionadas, principalmente, com 2,6-dimethylpyrazine (48). Korhoňová et al. (2009), avaliando os principais compostos voláteis para distinguir cafés de diferentes origens, concluíram que a 2,6-dimethylpyrazine (48) foi um marcador para discriminação de variedade ou origem geográfica dos cafés estudados. Diante dos resultados apresentados, esse constituinte volátil pode ser indicado como um potencial marcador para a diferenciação da qualidade dos cafés da região das Matas de Minas.

Outro composto que também contribuiu para discriminação desses cafés foi 2-butanone, 1-(acetyloxy)- (65), que apresenta odor de café. No entanto, esse composto exerce pouca influência no aroma do café torrado, o que impossibilita determinar alguma correlação com o perfil volátil dessas amostras.

As amostras SMN, CN, CCD e CHN, agrupadas no quadrante superior esquerdo, na direção negativa do eixo X, estão relacionadas, principalmente, com 2-furanmethanol acetate (47). Esse constituinte é um furano majoritário citado em diversos trabalhos nos quais foi analisado o perfil volátil do café torrado (CHEONG et al., 2013; HOVELL et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009; PETISCA et al., 2014; RISTICEVIC; CARASEK; PAWLISZYN, 2008; RODRIGUES; PORTUGAL; NOGUEIRA, 2012).

Ribeiro et al. (2009), avaliando o perfil cromatográfico de amostras de diferentes qualidades, consideraram o 2-furanmethanol acetate como um possível marcador para qualidade global da bebida dos cafés pesquisados. Embora esse furano não seja considerado um constituinte marcante para o aroma do café torrado, o mesmo pode ser associado à qualidade desses cafés. Outros constituintes voláteis, como 3-pentanone, 2-methyl- (64); 2,3-dimethylpyrazine (45); 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine (52) e 5-methylfurfural (43), também contribuíram para a discriminação desses cafés. Piccino et al. (2013) identificaram e quantificaram os compostos 5-methylfurfural (43) e 3-ethyl-2,5-

dimethylpyrazine (52) no perfil volátil de cafés especiais e notaram a contribuição desses constituintes para a discriminação das categorias Grand cru, Sublime e Authentique. Esses autores também relataram que a 3-ethyl-2,5-dimethylpyrazine (52) é constituinte marcante para o odor do café torrado.

Korhoňová et al. (2009), avaliando trinta amostras comerciais de café, indicaram o 5-methylfurfural (43) como um dos seis compostos majoritários que foram significantes para distinguir a variedade ou a origem geográfica dos cafés analisados. A 3-pentanone, 2-methyl- (64) é uma cetona que exerce pouco impacto no aroma do café torrado. Contudo, Risticovic, Carasek e Pawliszyn (2008), estudando cafés de diversas origens geográficas, constataram que a 3-pentanone, 2-methyl- (64) foi um dos 29 constituintes voláteis responsáveis pela diferenciação dos cafés avaliados. A 2,3-dimethylpyrazine (45) é descrita como uma pyrazina de grande impacto odorífero no café torrado. Além das amostras SMN, CN, CCD e CHN, esse constituinte também foi responsável pela discriminação da amostra CHCD localizada no quadrante superior esquerdo, na direção negativa do eixo X. Risticovic, Carasek e Pawliszyn (2008), verificando a composição volátil de cafés de diferentes origens geográficas, identificaram a 2,3-dimethylpyrazine no *headspace* das amostras avaliadas e concluíram que esse constituinte é um dos 29 compostos do aroma que contribuíram para a discriminação dos cafés estudados.

A amostra CHCD também foi relacionada ao acetic acid (21) e pyridine (32). Embora a literatura descreva o aroma desses constituintes como desagradável (FLAMENT, 2002), em diversos estudos esses compostos foram descritos no perfil volátil de seus cafés (AKIYAMA et al., 2005; LÓPEZ-DARIAS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2009; PICCINO et al., 2013; RIBEIRO et al., 2009; RIBEIRO et al., 2010; RISTICEVIC; CARASEK; PAWLISZYN, 2008; RODRIGUES; PORTUGAL; NOGUEIRA, 2012). De Maria, Moreira e Trugo (1999) afirmam que o aroma do café torrado é constituído por uma

mistura complexa de compostos com poderes odoríferos distintos e presentes em diferentes concentrações. Uma mesma substância volátil pode causar uma sensação odorífera agradável ou desagradável, dependendo de sua concentração no meio e das interações com outros compostos. Korhoňová et al. (2009), discriminando cafés de diferentes origens, citaram o acetic acid (21) como um composto majoritário e como principal fonte de diferenciação da variedade robusta. Contudo, os autores não inferem sobre a qualidade sensorial desse constituinte sobre o café discriminado.

Possivelmente, a menor nota final atribuída à amostra CHCD pode ter sido consequência da presença do acetic acid e da pyridine (32) no perfil volátil desse café. Contudo, a maior contribuição da 2,3-dimethylpyrazine (45) para a discriminação desses cafés pode ter sido primordial para a obtenção de melhores notas sensoriais, o que classificou esse café como especial.

No presente trabalho, a maioria das substâncias que contribuíram para discriminação das amostras não é descrita como potentes odorantes do café torrado. No entanto, Ribeiro et al. (2009) confirmaram que a qualidade do café também pode estar associada à presença de compostos de menor impacto odorífero.

Geralmente, é difícil estabelecer uma correlação entre a análise instrumental e a percepção sensorial, uma vez que não há relação entre os mecanismos de detectores cromatográficos e a interação dos compostos voláteis com os receptores olfativos. A complexidade do sistema olfatório humano, que ainda não está completamente elucidada, contribui para aumentar a dificuldade desta correlação. Embora a cromatografia gasosa acoplada à olfatométrica tenha proporcionado avanços nesta área, correlacionar estruturas químicas com sensações olfativas ainda é muito complexo, sendo tema de pesquisa de muitos trabalhos (BASSOLI, 2006; RODARTE, 2008; ZELLNER et al., 2008).

4 CONCLUSÕES

Os cafés SMN e CCD obtiveram as maiores notas finais para cada tipo de processamento avaliado. Os atributos sabor e acidez contribuíram de forma idêntica para a discriminação desses cafés, o que evidencia características semelhantes entre os mesmos.

As amostras CN e SMCD foram discriminadas pelo atributo gosto remanescente.

As amostras MMN e MMCD foram discriminadas pelo atributo bebida limpa.

As classes de compostos químicos com maior número de identificações prováveis foram furanos, pirazinas e cetonas.

O principal constituinte volátil relacionado às amostras SMN, SMCD, CN, CCD e CHN foi o 2-furanmethanol acetate.

A 2,6-dimethylpyrazine discriminou os cafés das regiões das Matas de Minas, para os dois tipos de processamentos avaliados.

A amostra CHCD foi relacionada, principalmente, a 2,3-dimethylpyrazine. No entanto, pyridine e acetic acid também foram relacionados a esse café, o que pode ter contribuído para a menor nota do mesmo na análise sensorial.

REFERÊNCIAS

- AKIYAMA, M. et al. Characterization of flavor compounds released during grinding of roasted robusta coffee beans. **Food Science and Technology Research**, Basel, v. 11, n. 3, p. 298-307, Aug. 2005.
- BALTES, W.; BOCHMANN, G. Model reactions on roast aroma formation: III: mass spectrometry identification of pyrroles from the reaction of serine and threonine with sucrose under the conditions of coffee roasting. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung**, Berlin, v. 184, p. 478-484, 1987.
- BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 04, n. 05, p. 181-190, Jan. 2012.
- BASSOLI, D. G. **Impacto aromático dos componentes voláteis do café solúvel: uma abordagem analítica e sensorial**. 2006. 237 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.
- BHUMIRATANA, N.; ADHIKARI, K.; CHAMBERS IV, E. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 44, p. 2185-2192, July 2011.
- BICHO, N. C. et al. Identification of chemical clusters discriminators of the roast degree in Arabica and Robusta coffee beans. **European Food Research and Technology**, New York, v. 233, p. 303-311, Apr. 2011.
- CHEONG, M. W. et al. Volatile composition and antioxidant capacity of Arabica coffee. **Food Research International**, Amsterdam, v. 51, p. 388-396, Dec. 2013.
- CZERNY, M.; MAYER, F.; GROSCH, W. Sensory study on the character impact odorants of roasted Arabica coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 47, p. 695-699, 1999.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C. Componentes voláteis do café torrado: parte I: compostos heterocíclicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 209-217, mar./abr. 1999.

FISK, I. D. et al. Discrimination of roast and ground coffee aroma. **Flavor**, London, v. 14, n. 01, p. 01-08, 2012.

FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. Chichester: J. Wiley, 2002. 424 p.

HOVELL, A. M. C. et al. Evaluation of alignment methods and data pretreatments on the determination of the most important peaks for the discrimination of coffee varieties Arabica and Robusta using gas chromatography–mass spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 678, p. 160-168, Sept. 2010.

KORHOŇOVÁ, M. et al. Coffee aroma: statistical analysis of compositional data. **Talanta**, Amsterdam, v. 80, n. 2, p. 710-715, 2009.

LEITE, R. A. **Mucilagem residual e qualidade da bebida do café cereja descascado**. 2002.105 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2002.

LÓPEZ-DARIAS, J. et al. Developing qualitative extraction profiles of coffee aromas utilizing polymeric ionic liquid sorbent coatings in headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 401, n. 9, p. 2965-2976, 2011.

MASI, C. et al. Sensory properties of under-roasted coffee beverages. **Journal of Food Science**, Hoboken, v. 78, n. 8, p. 1290-1300, Sept. 2013.

MOON, J. K.; SHIBAMOTO, T. Formation of volatile chemicals from thermal degradation of less volatile coffee components: quinic acid, caffeic acid, and chlorogenic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, p. 5465-5470, Apr. 2010.

MOREIRA, R. F. A. et al. Componentes voláteis do café torrado: parte II: compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 195-203, maio/jun. 2000.

MORI, E. Qualidade técnica e sensorial. **Jornal do Café**, São Paulo, v. 10, n. 119, p. 5, 2001.

NUNES, C. A. et al. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 23, n. 11, p. 2003-2010, 2012.

OLIVEIRA, R. C. S. et al. Evaluation of the potential of SPME-GC-MS and chemometrics to detect adulteration of ground roasted coffee with roasted barley. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, n. 3, p. 257-261, 2009.

PETISCA, C. et al. Optimization and application of a HS-SPME-GC-MS methodology for quantification of furanic compounds in espresso coffee. **Food Analytical Methods**, New York, v. 7, n. 1, p. 81-88, 2014.

PICCINO, S. et al. Aromatic composition and potent odorants of the “specialty coffee” brew “Bourbon Pointu” correlated to its three trade classifications. **Food Research International**, Amsterdam, v. 61, p. 264-271, July 2013.

RIBEIRO, J. S. et al. Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 364, p. 172-179, Dec. 2009.

RIBEIRO, J. S. et al. Uso de perfis cromatográficos de voláteis de cafés arábicas torrados para a diferenciação das amostras segundo o sabor, o aroma e a qualidade global da bebida. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 9, p. 1897-1904, 2010.

RISTICEVIC, S.; CARASEK, E.; PAWLISZYN, J. Headspace solid-phase microextraction–gas chromatographic–time-of-flight mass spectrometric methodology for geographical origin verification of coffee. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 617, p. 72-84, Apr. 2008.

RODARTE, M. P. **Análise sensorial, química e perfil de constituintes voláteis de cafés especiais**. 2008. 147 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

RODRIGUES, C. I. et al. Stable isotope analysis for green coffee bean: a possible method for geographic origin discrimination. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 22, p. 463-471, 2009.

RODRIGUES, C.; PORTUGAL, F. C. M.; NOGUEIRA, J. M. F. Static headspace analysis using polyurethane phases: application to roasted coffee volatiles characterization. **Talanta**, Amsterdam, v. 89, p. 521-525, Dec. 2012.

SANZ, C. et al. Comparison of potent odorants in a filtered coffee brew and in an instant coffee beverage by aroma extract dilution analysis (AEDA). **European Food Research and Technology**, New York, v. 214, p. 299-302, Mar. 2002.

SPADONE, J. C.; TAKEOKA, G.; LIARDON, R. Analytical investigation of Rio off flavor in green coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 38, p. 227-236, 1990.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Cupping protocols**. 2008. Disponível em: <<https://www.scaa.org/?page=resources&d=cupping-protocols>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

TOCI, A. T.; FARAH, A. Volatile fingerprint of Brazilian defective coffee seeds: corroboration of potential marker compounds and identification of new low quality indicators. **Food Chemistry**, Oxford, v. 153, p. 298-314, Nov. 2014.

TOLEDO, J. L. B. de; BARBOSA, A. T. **Classificação e degustação de café.** Brasília: SEBRAE, 1998. 91 p. (Série Agronegócios).

YERETZIAN, C.; JORDAN, A.; LINDINGER, W. Analysing the headspace of coffee by próton transfer-reaction mass-spectrometry. **International Journal of Mass Spectrometry**, Amsterdam, v. 223, n. 1/3, p. 115-139, 2003.

ZELLNER, B. A. et al. Gas chromatography-olfactometry in food flavour analysis. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1186, n. 1/2, p. 123-143, 2008.

