



DIEGO EGÍDIO RIBEIRO

**DESCRITORES QUÍMICOS E SENSORIAIS
PARA DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE DA
BEBIDA DE CAFÉ ARÁBICA DE DIFERENTES
GENÓTIPOS E MÉTODOS DE
PROCESSAMENTO**

LAVRAS-MG

2017

DIEGO EGÍDIO RIBEIRO

**DESCRITORES QUÍMICOS E SENSORIAIS PARA DISCRIMINAÇÃO
DA QUALIDADE DA BEBIDA DE CAFÉ ARÁBICA DE DIFERENTES
GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

Coorientador

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes

LAVRAS-MG

2017

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

Ribeiro, Diego Egídio.

Descritores químicos e sensoriais para discriminação da
qualidade da bebida de café Arábica de diferentes genótipos e
métodos de processamento / Diego Egídio Ribeiro. - 2016.

132 p. : il.

Orientador(a): Flávio Meira Borém.

Coorientador(a): Cleiton Antônio Nunes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Cafés especiais. 2. Qualidade. 3. Composição química. I.
Borém, Flávio Meira. II. Nunes, Cleiton Antônio. III. Título.

DIEGO EGÍDIO RIBEIRO

**DESCRITORES QUÍMICOS E SENSORIAIS PARA DISCRIMINAÇÃO
DA QUALIDADE DA BEBIDA DE CAFÉ ARÁBICA DE DIFERENTES
GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 14 de dezembro de 2016.

Dra. Helena Maria Ramos Alves	EMBRAPA
Dra. Sara Maria Chalfoun	EPAMIG
Dra. Margarete M. Lordelo Volpato	EPAMIG
Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes	UFLA

Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

Coorientador

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes

LAVRAS-MG

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder o dom da vida e a capacidade de alcançar todos os meus objetivos pessoais e profissionais.

Aos meus amados pais, Maria de Fátima e Osmair, pelo constante apoio e incentivo.

Aos meus amados irmãos, Andiará e Bruno, sobrinhos e demais familiares, por acreditarem e apoiarem continuamente todos os meus sonhos.

A Larissa, pelo amor, respeito, carinho, cumplicidade e amizade em nosso relacionamento e por todo apoio na conclusão desta etapa de minha vida.

Ao professor Flávio Meira Borém, pelos ensinamentos e valores humanos transmitidos, pela minha formação, pelas oportunidades construídas, pelo compartilhamento e convívio com alegria e sabedoria.

Aos membros da banca e ao coorientador prof. Cleiton, por toda colaboração com o trabalho, compartilhamento e ensinamentos.

Ao grande amigo José Henrique, por me fazer enxergar como buscar a felicidade, pela cumplicidade e pelos valiosos conselhos.

Às parceiras Ana Paula e Claudia, pela participação essencial na realização dos trabalhos.

Aos integrantes, ex-integrantes, colegas e parceiros do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícola da UFLA: Ivan, Pedro, Gilberto, Juliana, Fabiana, Valquíria, Letycia, Francile, Renan, Samuel, Paula, Dieguinho, Júlia, Isabella, Camila, Caio, Carlos Henrique, Ricardo, Gerson Giomo, Jaques Carneiro, Paulo César, Joel Shuler, Luisa, Daiane, Marcos Paulo, Lucas, Murilo, Eder, Guilherme, Afonso, Valdiney, Randal, Danilo, Janaína, Fabrício, Giselle,

Joyce e Diego, Laryanne, Felipe, Gabriel, Daniele, Luiz, Gabriela, Lourenço, Ana Claudia, Mariane, Jéssica, Luciana, Suzane e professores Ednilton, Marcelo Cirillo e Renato, pela contribuição, convivência, aprendizado e amizade conquistada ao longo deste trabalho.

Aos colegas, funcionários e professores do Departamento Engenharia Agrícola, pela convivência diária, motivação e auxílio.

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, por todas as oportunidades construídas e oferecidas durante o doutoramento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café) pela concessão de bolsas de estudo e apoios financeiros aos projetos desenvolvidos ao longo do doutoramento.

À Associação dos Produtores de Café da Mantiqueira (APROCAM), à Cooperativa Regional dos Cafeicultores do Vale do Rio Verde (COOCARIVE) e à Cooperativa Regional Agropecuária de Santa Rita do Sapucaí (COOPERRITA), pela colaboração essencial nas campanhas de campo.

RESUMO

Os impactos das diferentes formas de se produzir café sobre a qualidade da bebida têm sido debatidos há anos, e seguramente continuarão sendo objeto de estudo nas próximas décadas, principalmente por se tratar de um fenômeno de alta complexidade. Os fatores safra, altitude, face de exposição ao sol da lavoura, cor do fruto, genótipo, método de processamento, assim como a composição química do grão cru e sua relação com a qualidade da bebida, serão abordados neste estudo buscando responder a uma das perguntas mais frequentes no mercado consumidor: quais as razões para a qualidade do café? Assim, foi desenvolvido um estudo inicial para caracterizar a qualidade a partir de descritores sensoriais do café. Durante as safras 2010 e 2011, foi analisada a qualidade da bebida de variedades de fruto vermelho e amarelo (*Coffea arabica* L.) cultivadas em ambientes com diferentes faces de exposição ao sol (vertente) e altitude variando entre 932 m e 1391 m. Com base nos resultados encontrados no primeiro estudo, foram desenvolvidos dois novos estudos para as safras 2010, 2011 e 2012, com foco na caracterização do perfil de ácidos orgânicos associado com os bioativos e também do perfil de ácidos graxos, presentes no grão cru. Foi investigado também o potencial desses grupos químicos na discriminação da qualidade sensorial do café, comparando o desempenho dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá submetidos aos métodos de processamento: via seca e via úmida com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto. Todos os procedimentos de colheita e pós-colheita foram realizados conforme as principais tecnologias para produção de cafés especiais. As análises sensoriais foram realizadas utilizando-se a metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). As análises químicas foram feitas por meio de cromatografia líquida e gasosa. A qualidade do café se diferencia com perfis sensoriais únicos em ambientes de cultivo correspondentes a altitudes acima de 1100 m. Os descritores sensoriais, sabor, acidez, corpo e doçura correspondem ao ambiente de cultivo e variam em função do método de processamento e cor do fruto. Foi possível discriminar a qualidade sensorial do café descascado e desmucilado mecanicamente a partir do perfil de ácidos orgânicos associado com os bioativos, cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (3,4 e 5-CQA), determinados no grão cru. Não foi possível discriminar a qualidade da bebida do café proveniente dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá, processados por via úmida e via seca, por meio da análise do perfil de ácidos graxos determinados no grão cru.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Qualidade sensorial. Perfil químico. Safra. Vertente.

ABSTRACT

The impacts of different ways of producing coffee on the beverage quality have been debated for years and will surely continue to be studied in the next decades, mainly because it is a phenomenon of high complexity. Crop season, altitude, slope exposure, fruit color, genotype, processing method, as well as the chemical composition of green coffee and its relation with the sensory quality will be addressed in this study to answer one of the most frequent questions in the consumer market: what are the reasons for coffee quality? Therefore, an initial study was developed to characterize the quality from the sensorial descriptors of coffee. During the 2010 and 2011 crop seasons, it was analyzed the sensorial quality of varieties of red and yellow fruit (*Coffea arabica* L.) cultivated in environments with different slopes exposure and altitude between 932 m and 1,391 m. Based on the results found in the first study, two new studies were developed for the 2010, 2011, and 2012 crop seasons, aiming to characterize the profile of organic acids associated with bioactives and also the profile of fatty acids present in green coffee. It was also investigated the potential of these chemical groups in discriminating the sensorial quality of coffee, comparing the performance of the Yellow Bourbon and Acaiá genotypes submitted to both dry and wet processing methods (mechanically pulped and demucilaged coffee). All harvesting and post-harvesting procedures were performed according to the main technologies for the production of specialty coffees. The sensorial analyzes were performed using the methodology proposed by the American Association of Special Coffees (SCAA). The chemical analyses were performed by liquid and gas chromatography. The quality of coffee differs with unique sensorial profiles in growing environments corresponding to altitudes above 1100 m. Sensory descriptors, taste, acidity, body, and sweetness correspond to the growing environment and range depending on the processing method and color of the fruit. It was possible to discriminate the sensory quality of coffee processed by the wet method with mechanical removal of the skin and mucilage of fruits by analyzing the organic acids profile associated with the bioactives, caffeine, trigonelline and chlorogenic acids (3,4 and 5-CQA), determined in green coffee. It was not possible to discriminate the sensory quality of coffee from the fatty acid profile determined in the green coffee for the Yellow Bourbon and Acaiá genotypes by neither the wet nor the dry process.

Keywords: *Coffea arabica* L. Sensory quality. Chemical profile. Crop season. Slope exposure.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	10
1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Cafés especiais	12
2.2	Conceito de <i>terroir</i>	15
2.3	O ambiente e a qualidade do café	16
2.4	O genótipo e a qualidade do café	21
2.5	O processamento e a qualidade do café	24
2.6	Análise sensorial do café	28
2.7	Composição química do café	30
2.7.1	Ácidos orgânicos	30
2.7.2	Bioativos: cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos	32
2.7.3	Ácidos graxos	36
	REFERÊNCIAS	39
	SEGUNDA PARTE	54
	ARTIGO 1 DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE SENSORIAL DE CAFÉ ARÁBICA PRODUZIDO A PARTIR DE DIFERENTES AMBIENTES, GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO	54
1	INTRODUÇÃO	55
2	MATERIAIS E MÉTODOS	56
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	76
	ARTIGO 2 PERFIL DE ÁCIDOS ORGÂNICOS E BIOATIVOS NA DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ	

	PROVENIENTE DE DIFERENTES GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO	81
1	INTRODUÇÃO	82
2	MATERIAIS E MÉTODOS	84
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
4	CONCLUSÃO	101
	REFERÊNCIAS	102
	ARTIGO 3 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS NA DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ PROVENIENTE DE DIFERENTES GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO	106
1	INTRODUÇÃO	107
2	MATERIAIS E MÉTODOS	109
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	114
4	CONCLUSÃO	123
	REFERÊNCIAS	124
	APÊNDICE A	129
	APÊNDICE B	130
	APÊNDICE C	131
	APÊNDICE D	132

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da bebida do café se expressa diferentemente em função da sua origem geográfica. São notórias as variações no perfil sensorial do café produzido em países ou microrregiões distintas, ou até mesmo em diferentes locais de plantio de uma mesma fazenda. É, portanto, essencialmente um produto de *terroir* (ALVES et al., 2011). Sua expressão é influenciada diretamente pelos aspectos ambientais, tanto os naturais quanto os humanos. As características genéticas de diferentes variedades, as condições particulares de clima, solo e relevo associados ao “saber fazer” local, representados pelos diferentes métodos de cultivo, técnicas de colheita, processamento e secagem, formam a identidade da bebida do café (ALVES et al., 2011; AVELINO et al., 2005; BERTRAND et al., 2006). Portanto, a expressão da qualidade do café é um fenômeno de alta complexidade.

Em relação às divisas geradas a partir do café, embora o mercado de commodities represente a maior parte das transações mundiais, o segmento de cafés especiais tem se destacado no mercado internacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS – BSCA, 2017).

O que diferencia o “café especial” de um “café comum” é basicamente a qualidade de sua bebida, que é mais valorizada quanto mais rara e exótica for a sensação de prazer ou percepção sensorial oferecida ao consumidor. A complexidade da bebida é determinada principalmente pelo sabor e aroma formados durante a torração a partir de compostos químicos presentes no grão cru, considerados precursores da qualidade (ALPIZAR et al., 2004; FARAH et al., 2005; RIBEIRO et al., 2016). No entanto, a qualidade da bebida pode ser afetada por fermentações, métodos de processamento, secagem, beneficiamento

e armazenamento (BORÉM et al., 2013; DECAZY et al., 2003; ISQUIERDO et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011). Dependendo das condições climáticas e do manejo de secagem, essas alterações resultam em características consideradas indesejáveis. Neste caso, a falta de conhecimento e baixos níveis tecnológicos resultam em bebidas com odores e paladares estranhos considerados defeitos.

No presente estudo, não serão considerados e discutidos os fatores que resultam em apodrecimento, ocorrência de fungos ou fermentações indesejáveis, mas, sim, expostos os resultados da investigação da qualidade com o conceito ligado ao prazer que a bebida pode proporcionar. Para isso, foram utilizadas amostras de *Coffea arabica* L. coletadas *in loco* seguindo todas as recomendações para produção de cafés especiais (BORÉM, 2014). Assim, a qualidade do café tem sido debatida há anos e certamente continuará sendo objeto de estudo nas próximas décadas devido, principalmente, em razão da sua complexidade (AVELINO et al., 2005; BERTRAND et al., 2006; DECAZY et al., 2003; GUYOT et al., 1996; BORÉM, 2014; BORÉM et al., 2013; RIBEIRO et al., 2016).

Os conceitos de qualidade são amplos e podem ser entendidos de acordo com sua contextualização. Do ponto de vista da "qualidade do produto café", ao contrário do conceito relacionado à "preferência do consumidor", é necessário entender que a sua qualidade intrínseca corresponde a todas as propriedades que um grão normal e sadio pode ter, sejam elas relacionadas à composição química ou às características físicas e fisiológicas. Na literatura, constam que as propriedades intrínsecas do grão variam de acordo com a constituição genética da planta que o originou em interação com o meio ambiente, assim como pelo modo de processamento do fruto recém-colhido (BERTRAND et al., 2006; BYTOF et al., 2005, 2007). Isto significa que, como produto final, essas propriedades são manifestadas na forma de atributos sensoriais após a torração do grão cru e preparação da bebida.

Os fatores safra, altitude, face de exposição ao sol da lavoura, cor do fruto, genótipo, método de processamento, assim como a composição química do grão cru e sua relação com a qualidade da bebida serão abordados neste estudo, buscando responder a uma das perguntas mais frequentes no mercado consumidor: quais as razões para a qualidade do café? Será apresentada parte dos resultados de estudos desenvolvidos na microrregião Mantiqueira de Minas, MG, Brasil, com a finalidade principal de ampliar a compreensão sobre o fenômeno da expressão da qualidade do café.

O presente trabalho foi dividido em três estudos. Em um primeiro momento, serão apresentados resultados com foco na investigação de descritores sensoriais do café que dependem, essencialmente, da interação entre genótipo e meio ambiente e do método de processamento. Com base nos resultados encontrados no primeiro estudo, serão apresentados mais dois estudos com foco na caracterização do perfil de ácidos orgânicos, em conjunto com os bioativos trigonelina, cafeína e ácidos clorogênicos (3, 4 e 5-CQA) e, também, do perfil de ácidos graxos presentes no grão cru. Além da caracterização dos compostos, buscou-se, nos dois últimos artigos, investigar o potencial destes grupos químicos para discriminação da qualidade sensorial do café em função do genótipo e do método de processamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafés especiais

O conceito de café especial está ligado ao prazer que a bebida pode proporcionar, seja por meio de algum atributo específico, processo de produção ou serviço a ele associado. Assim, os cafés especiais diferenciam-se dos cafés comuns por características como qualidade superior da bebida, aspecto dos

grãos, forma de colheita, processamento pós-colheita, história, origem dos plantios, cultivares e certificações, entre outras (LINGLE, 2011). Podem, também, incluir parâmetros de diferenciação que se relacionam à sustentabilidade econômica, ambiental e social, como os sistemas de produção e as condições da mão de obra sob os quais o café é produzido. A rastreabilidade e a incorporação de serviços também são fatores de diferenciação e, portanto, de agregação de valor (GIOMO; BORÉM, 2011).

Os cafés especiais se caracterizam por não apresentarem qualquer tipo de defeito na bebida, obtendo, no mínimo, 80 pontos na escala de classificação de cafés especiais da Specialty Coffee Association of America (SCAA) (LINGLE, 2011), o que equivale a um café de bebida mole, de acordo com a Instrução Normativa nº 8 (BRASIL, 2003a), além de apresentar qualidade diferenciada e elevado potencial de expressão de aroma e sabor. Assim, para ser considerado especial, o café deve apresentar um caráter distinto na xícara e ser notavelmente bom, pois, mesmo apresentando bom aspecto físico, se, após a torra, não for altamente aromático e agradável ao paladar, poderá deixar de ser um café especial (SCAA, 2012).

A qualidade intrínseca dos grãos de café, como por exemplo, sua composição química, é que determinará a qualidade diferenciada de um café especial (GIOMO; BORÉM, 2011). Após o processo de torração, os compostos químicos dos grãos resultarão na formação de sabores e aromas que caracterizarão a bebida. Sendo assim, a qualidade do café não deve ser confundida com a preferência do consumidor, visto que a qualidade intrínseca do grão é determinada pela interação dos fatores genéticos, ambientais e do processamento, além da preferência do consumidor por fatores socioeconômico-culturais e pelos conhecimentos específicos relacionados com a bebida do café (GIOMO; BORÉM, 2011).

Alguns relatos tratam que o segmento dos cafés especiais surgiu entre 1970 e 1980, em plena crise de consumo norte-americana. Inicialmente, um grupo de industriais fundou a Associação Americana de Cafés Especiais, com o objetivo de estimular a produção e o consumo de cafés especiais. Pode-se dizer que tenha surgido como um meio de driblar preocupações relacionadas à produção ou, até mesmo, apenas para agregar valor ao produto. Os cafés especiais resistem melhor à crise (SCAA, 2016). Isto porque suas características de sabor e métodos de produção os tornam produtos originais, o que lhes garante um melhor preço, uma vez que são valorizados pelos torrefadores e consumidores (AVELINO et al., 2005).

A qualidade da bebida do café é considerada um critério consolidado para se atingir os mercados que melhor remuneram o produto. No mercado mundial, a demanda por cafés especiais cresce em proporções muito maiores do que os cafés comuns (BSCA, 2017). Diante disso, verifica-se a importância do incentivo à produção de cafés especiais para a agregação de valor ao café brasileiro.

A grande procura por cafés de qualidade explica por que países produtores de café estão mostrando interesse crescente por informações a respeito de fatores que afetam a qualidade. Como, por exemplo, características ambientais, técnicas de cultivo, variedades e tecnologias de colheita e pós-colheita que desempenham papéis reconhecidos na definição da qualidade do café (AVELINO et al., 2005).

O segmento de cafés especiais representa cerca de 12% do mercado internacional de café (PASCOAL, 1999) e nota-se que o consumidor está disposto a pagar mais por produtos que apresentem atributos associados à bebida, tais como aroma, sabor, acidez, corpo e sabor residual, entre outros (PEREIRA; BARTHOLO; GUIMARÃES, 2004) e aos aspectos socioambientais, como comércio justo e responsabilidade ambiental.

Embora o Brasil seja o maior produtor e exportador mundial, no mercado internacional, a sua imagem é de fornecedor de grande quantidade de cafés comuns e de baixo preço, enquanto outros países como Colômbia, Guatemala, Costa Rica e Quênia são reconhecidos como produtores de cafés de qualidade, conseguindo, dessa forma, agregar valor ao seu produto (GIOMO; BORÉM, 2011). Contudo, considera-se que o Brasil tenha condições favoráveis para aumentar a sua participação no mercado de cafés especiais, dada à diversidade de seu parque cafeeiro e ao elevado nível tecnológico da cafeicultura. Para que isso se torne realidade, são necessários investimentos, tanto no setor produtivo quanto na pesquisa científica e tecnológica, tendo em vista o aperfeiçoamento de técnicas que contribuam, efetivamente, para o aprimoramento da qualidade do café (GIOMO; BORÉM, 2011).

2.2 Conceito de *terroir*

A palavra “*terroir*” data do ano de 1229, sendo uma modificação linguística de formas antigas (*tieroir*, *tioroer*), com origem no latim popular “*territorium*”. *Terroir* designa uma extensão limitada de “terra” considerada do ponto de vista de suas aptidões agrícolas (ROBERT, 1985).

A definição de *terroir* tem sido amplamente utilizada na cultura da videira, e a influência dos diferentes fatores ligados à caracterização dos *terroirs* sobre a composição e qualidade das uvas tem sido constatada (KOUNDOURAS et al., 1999). Para o vinho, aparecem exemplos de significados como: “solo apto à produção de um vinho”, “*terroir* produzindo um grand cru”, “vinho que possui um gosto de *terroir*”, “um gosto particular que resulta da natureza do solo em que a videira é cultivada” (TONIETTO, 2007).

No caso do café, as possibilidades de diferenciação e segmentação deste produto, em virtude da qualidade sensorial, permitem elevar a competitividade

de mercado dessa *commodity* (PRODOLLIET et al., 2004). No entanto, é necessário compreender melhor os fatores que levam o cafeeiro expressar qualidades tão distintas.

Conhecer o ambiente em que o cafeeiro está inserido permite um melhor planejamento da produção, com vistas ao desenvolvimento sustentável e à obtenção de produtos com qualidade superior (CORTEZ, 1997). Isso acontece no momento em que se identifica a magnitude da influência que as características ambientais exercem sobre a qualidade de bebida do café (SERRANO; CASTRILLÓN, 2002).

Apesar da sua potencialidade, o conceito de *terroir* tem sido pouco explorado para a cultura do café e, conseqüentemente, o efeito dos vários fatores que determinam a qualidade química e sensorial, ainda não foi bem definido. Alguns autores, porém, têm mostrado que o café é altamente influenciado por características edafoclimáticas como, por exemplo, a altitude do ambiente de cultivo (AVELINO et al., 2005; DECAZY et al., 2003; GUYOT et al., 1996). No entanto, ainda restam questionamentos que expliquem melhor os efeitos ambientais sobre a qualidade final do café, pois se trata de um fenômeno complexo.

2.3 O ambiente e a qualidade do café

Classicamente, os estudos dos efeitos do clima e do ambiente sobre a qualidade da bebida do café relatam a forte influência tanto da temperatura quanto da precipitação na qualidade (AVELINO et al., 2005; GUYOT et al., 1996; JOËT et al., 2010). Temperaturas baixas são responsáveis pelo adiamento do processo de amadurecimento que, por sua vez, leva ao maior acúmulo de compostos químicos e bioquímicos associados à melhora do aroma do café

(VAAST et al., 2006). Apesar de esta abordagem ser verdadeira, ela não esgota os fenômenos que ocorrem na planta e nos frutos do café.

A elevação da altitude está relacionada ao aumento da qualidade da bebida em decorrência da redução da temperatura. Esse fenômeno é mundialmente conhecido e descrito em diversos países. Em estudos realizados na Colômbia, destaca-se a relação entre a altitude (1450 a 1650 m) e a qualidade do café, com melhorias significativas da bebida em altitudes mais elevadas (SERRANO; CASTRILLÓN, 2002). Em Honduras, cafés de qualidade superior foram obtidos em locais com altitudes elevadas e precipitações anuais abaixo de 1500 mm (DECAZY et al., 2003).

Entretanto, resultados contraditórios ainda são encontrados na literatura (AVELINO et al., 2005; GUYOT et al., 1996) e, embora o cultivo de café Arábica em altitudes mais elevadas seja conhecido por afetar favoravelmente a qualidade final da bebida, ainda são escassos dados quantitativos que descrevem a influência das condições climáticas sobre a composição química da semente ou do grão (JOËT et al., 2010).

Estudos conduzidos na Costa Rica, em altitudes que variaram de 900 a 1450 m, determinam alterações significativas na composição bioquímica (ácidos clorogênicos e ácidos graxos) de grãos de café variedade Caturra em função da elevação da altitude. Porém, esse efeito não foi observado para outros híbridos de Arábica cultivados em El Salvador, Costa Rica e Honduras, em altitudes entre 700 a 1600 m (BERTRAND et al., 2006). Parâmetros microclimáticos não foram registrados, não sendo possível concluir se os efeitos da altitude foram relacionados ao gradiente de temperatura ou a outras variáveis edafoclimáticas.

Um estudo mais rigoroso foi realizado na Ilha Reunion, próximo a Madagascar. Neste estudo, foram relacionadas as variáveis climáticas temperatura, precipitação, irradiância e evapotranspiração potencial com a composição bioquímica do café cru (JOËT et al., 2010). Amostras de café

Arábica de 16 talhões foram coletadas tendo em vista suas características peculiares: possuir solo vulcânico, rico e homogêneo, apresentar diferentes microclimas em curta distância e contar com uma densa rede de estações meteorológicas. Todas as parcelas foram semeadas no mesmo ano, com a mesma cultivar e manejo agrícola. Foram quantificadas variações em lipídios, ácidos clorogênicos, cafeína e conteúdo de açúcar. Entretanto, os resultados ainda foram contraditórios, demonstrando a complexidade de se encontrar relações consistentes entre variáveis edafoclimáticas, constituintes bioquímicas e a melhoria do aroma e sabor da bebida do café.

Estudos posteriores, realizados no mesmo local, identificaram que, entre os fatores climáticos, a temperatura média do ar, durante o desenvolvimento da semente, influenciou diretamente o perfil sensorial (BERTRAND et al., 2012). Atributos positivos de qualidade, como acidez, caráter frutado e qualidade do sabor foram correlacionados aos cafés produzidos em microclimas mais frios. Por outro lado, cafés cultivados sob condições de temperatura mais alta tiveram menor acidez, baixa qualidade aromática e caráter verde e terroso. Com base ainda nesse estudo, sugeriu-se que o aumento da temperatura média em áreas tropicais montanhosas e de elevadas altitudes teria impactos ainda maiores na cafeicultura local e levaria a prejuízos substanciais à qualidade final da bebida.

Em outra abordagem, para identificar as relações entre a qualidade do café e as características ambientais, foi proposto estudar informações contidas nos rótulos de cafés especiais de determinadas regiões da Colômbia. As regiões avaliadas foram Cauca e Nariño. Os resultados indicaram alta relação entre características ambientais com a qualidade da bebida, tais como o número de meses de secagem, precipitação anual, faixa de temperatura diurna, (OBERTHÜR et al., 2011).

O cálculo do somatório de evapotranspiração potencial também pode ser usado para melhor compreender as relações entre o clima, a maturação dos grãos

e a qualidade da bebida de café Arábica (CORTEZ, 1997). Estudos conduzidos em algumas localidades no Brasil constataram que as melhores condições climáticas para produzir, naturalmente, bebidas especiais foram encontradas em propriedades localizadas a 1050 m de altitude, com elevado déficit hídrico e baixas temperaturas no momento da colheita. No entanto, esses indicadores estão mais relacionados à interrupção dos processos fermentativos que prejudicam a bebida. Estes resultados não informam sobre a influência dos parâmetros climáticos sobre a qualidade do café com conceito ligado ao prazer que a bebida pode proporcionar (CORTEZ, 1997).

Outro fator ambiental de grande relevância para a cafeicultura é o relevo. Em uma mesma região, o relevo é capaz de diferenciar microclimas de acordo com as faixas de altitudes maiores (AVELINO et al., 2005). Além disso, ainda existem hipóteses sobre a contribuição da exposição das encostas e dos níveis de radiação solar sobre a qualidade final. Contudo, são poucos os trabalhos que avaliam essa influência na qualidade do café. Estudos sobre os efeitos da altitude e a disposição geográfica de encostas para dois diferentes *terroirs* (Orosi e Santa Maria de Dota) foram conduzidos na Costa Rica (AVELINO et al., 2005). Foi possível constatar diferenças na bebida do café produzido nestas áreas distintas, confirmando a evidência de que quanto maior a altitude, maior a qualidade. Além disto, efeitos mesoclimáticos são capazes de introduzir nuances nas características sensoriais do café. Nessas condições, a face de exposição leste é descrita como favorável a melhoria da qualidade da bebida. Todavia, para outros países, como é o caso do Brasil, pouco se sabe sobre a contribuição da face de exposição da lavoura em relação ao sol na qualidade final.

O efeito da altitude é de fato consenso entre todos os trabalhos conduzidos em diversos países do mundo com resultados que relatam tanto variações sensoriais como também variações na alocação de fotoassimilados em

folhas e frutos de cafeeiro. A altitude e o clima desempenham importante papel por meio da temperatura e da disponibilidade de água e luz afetando a taxa fotossintética durante o período de maturação do cafeeiro (DECAZY et al., 2003; LAVIOLA et al., 2007).

Além do efeito da altitude na redução da temperatura média em origens geográficas produtoras de cafés com perfis sensoriais únicos, também é reconhecido o efeito da combinação da temperatura com a latitude. Próximo à linha do Equador, todos os estudos apontam para altitudes mais elevadas, podendo superar 1400 m (AVELINO et al., 2005; DECAZY et al., 2003). Entretanto, à medida que se afasta da linha do equador, a exigência por altitudes mais elevadas é menor.

No Brasil, esse efeito pode ser facilmente observado, sobretudo por sua cafeicultura se distribuir em extensa faixa de latitudes. No estado de Minas Gerais, maior produtor brasileiro de café, a cafeicultura é distribuída em quatro distintos ambientes. Essas regiões apresentam diferentes características, tanto em relação ao meio físico quanto em relação às condições socioeconômicas. Por sua grande extensão territorial, essa região compreende diversas faixas latitudinais, que vão do extremo sul, com temperaturas mais amenas, ao extremo norte, com temperaturas mais quentes. Tendo em vista que a temperatura do ar decresce a uma taxa média de 0,6 °C a cada 100 m de altitude (AYOADE, 2003), as diversas regiões produtoras de café do Estado sofrem a influência das interações entre latitude e altitude. Para demonstrar o efeito da interação entre a altitude e a latitude, amostras de café foram coletadas entre os participantes de concursos de qualidade, realizados no estado de Minas (BARBOSA et al., 2010). As amostras foram especializadas com base na localização geográfica (latitude e longitude). As características ambientais foram determinadas a partir das normais climatológicas de temperatura, pluviosidade e índice de umidade do Zoneamento Econômico Ecológico de Minas Gerais (CARVALHO et al., 2008) do período

1961/1990. Os resultados demonstram discriminação de notas altas e baixas, em decorrência das variáveis ambientais, evidenciando forte influência da temperatura, precipitação, altitude e latitude na qualidade dos cafés estudados. Os resultados confirmam que as maiores notas sensoriais estão associadas às maiores altitudes. No entanto, quanto maior a latitude menor a exigência de altitudes elevadas para as melhores notas (BARBOSA et al., 2012).

2.4 O genótipo e a qualidade do café

A síntese, o acúmulo e a degradação de compostos químicos do grão cru de café, considerados precursores do sabor e aroma da bebida, dependem da interação entre genótipo e meio ambiente (ALPIZAR et al., 2004; BERTRAND et al., 2006; TAVEIRA et al., 2014). Embora vários estudos tenham sido realizados, buscando entender o efeito isolado dos fatores que determinam a qualidade do café, poucos correlacionaram a influência da constituição genética de diferentes cultivares de café Arábica com a qualidade final da bebida (GIOMO et al., 2011a).

Certas características do café são relativamente estáveis e inerentes ao genótipo, podendo servir como indicação de espécies ou cultivares. Assim, o genótipo assume um papel relevante na determinação na qualidade da bebida. Mesmo quando cultivadas sob as mesmas condições ambientais, diferentes cultivares podem produzir cafés com variações acentuadas nas notas de sabor e aroma. Além disso, quando uma cultivar tem predisposição genética para expressar qualidades distintas de bebida, ela continuará a ser reconhecida pelo seu sabor e aroma característicos, mesmo que existam alterações na intensidade de determinados atributos sensoriais em resposta a variações ambientais (MEDINA-FILHO et al., 2007).

Atualmente há um grande número de cultivares de café arábica usadas no mundo. Somente no Brasil, estima-se que 128 cultivares de café arábica são registradas para cultivo comercial (BRASIL, 2003b). Contudo a maioria das cultivares deriva-se de uma base genética estreita, resultando em grande similaridade genética entre as principais cultivares de café arábica dispersas pelo mundo (FAZUOLI et al., 2002).

No caso do Brasil, é reconhecido que apenas quatro genótipos distintos (Típica, Bourbon, Arabusta e Híbrido de Timor) contribuíram para a formação da base genética das cultivares comerciais. Assim, mesmo com o genótipo assumindo papel relevante na determinação do sabor e aroma da bebida, a similaridade genética entre as cultivares comerciais é tão grande que dificulta a diferenciação, levando a uma situação em que as percepções sensoriais mais marcantes sejam condicionadas à região de origem do café e ao "saber fazer" local, ou seja, ao ambiente e processamento e não ao genótipo (FAZUOLI et al., 2002).

Em contraposição, algumas abordagens quanto à qualidade da bebida de café arábica indicam que o sabor e aroma são características organolépticas determinadas essencialmente pelo genótipo, servindo como ferramenta para seleção visando à melhoria da qualidade da bebida do café arábica (TESSEMA et al., 2011). Alguns estudos indicam que o aroma, a acidez e o sabor do café são mais afetados pelo genótipo do que pelo ambiente, tornando possível melhorar a qualidade sensorial pelo melhoramento genético. Por outro lado, a adstringência, o amargor e o corpo da bebida são consideravelmente afetados pelo ambiente, indicando baixa eficiência como critério de seleção genética baseado nessas características (KITILA et al., 2011).

O componente genético vem recebendo cada vez mais atenção nos programas de melhoramento para a produção de cafés especiais, com novos padrões de sabor e aroma. No entanto, embora a influência das características

genéticas sobre a qualidade final da bebida de café seja clara, a atenção dos pesquisadores com foco na melhoria da qualidade é bastante recente (MONTAGNON; MARRACCINI; BERTRAND, 2012). Uma fonte importante de variabilidade sensorial pode ser encontrada em cafés provenientes de genótipos não comerciais de *Coffea arabica* L. de países africanos.

Estudos realizados em populações de acessos selvagens e variedades provenientes da Etiópia, Sudão, Tanzânia e Índia indicaram a existência de diferentes tipos de plantas, com variações no teor de cafeína presente no grão, confirmando a alta variabilidade genética dos bancos de germoplasma (CARVALHO; MÔNACO; SCARANARI, 1962). Foi possível também encontrar variabilidade no perfil sensorial da bebida. Isso oferece novas perspectivas aos programas de melhoramento genético com vistas à seleção de novas cultivares com qualidade de bebida superior.

Atualmente, o genótipo Bourbon Amarelo é considerado como uma das cultivares comerciais de maior potencial genético para a produção de cafés especiais. Em razão do sabor doce e do aroma característico que confere à bebida, esta cultivar atraiu o interesse dos cafeicultores em diferentes países (CARVALHO et al., 2008). No Brasil e em todo o mundo, várias tentativas foram feitas para recuperar o uso de cultivares mais antigas, com alto potencial, tanto pela demanda de compradores internacionais quanto por sinais de cultivares como o Bourbon Amarelo que produzem cafés diferenciados, com sabores e aromas específicos que são altamente desejados pelos consumidores (FIGUEIREDO et al., 2013; GIOMO et al., 2012).

Estudos realizados com diversas linhas de Bourbon Amarelo indicaram a existência de variabilidade genética, para diversos fatores agrônômicos e tecnológicos, confirmando que a constituição genética das plantas tem um efeito quantitativo e qualitativo sobre algumas características físico-químicas dos grãos

de café, resultando em perfis sensoriais distintos na bebida de cada cultivar (GIOMO et al., 2011a, 2011b).

2.5 O processamento e a qualidade do café

Além de fatores ambientais, genéticos e de outros relacionados ao manejo da lavoura cafeeira, as diferenças encontradas no sabor e aroma da bebida do café estão diretamente associadas a alterações físicas, químicas e fisiológicas que ocorrem nos grãos durante as etapas de processamento (BYTOF et al., 2005, 2007; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; SELMAR et al., 2006).

Em geral, os relatos encontrados que descrevem diferenças na qualidade do café processado via seca (café natural), comparativamente, aos cafés processados via úmida (café em pergaminho), atribuem maior corpo e menor acidez aos cafés naturais, ao passo que os cafés descascados são descritos com aroma mais acentuado e uma leve e prazerosa acidez. Além disso, frequentemente, os cafés naturais são descritos com menor qualidade comparativamente, aos cafés em pergaminho com uso de fermentação natural para remoção da mucilagem (PUERTA-QUINTERO, 1999; VINCENT, 1987).

Apesar dos inúmeros eventos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos cafés durante a pós-colheita e que podem resultar nas características que os distinguem, a explicação tradicional para essas diferenças refere-se a processos deteriorativos frequentemente associados aos cafés naturais, devido à ausência de cuidados no momento da colheita e secagem. No entanto, tais afirmações não são suficientes para explicar as diferenças na qualidade de cafés especiais processados sob condições controladas independentemente do método de processamento (BOREM, 2014; CLIFFORD; RAMIREZ-MARTINEZ, 1991; LELOUP et al., 2004).

Além do efeito da presença do exocarpo na qualidade final do café, várias questões são levantadas a respeito do efeito da presença do mesocarpo (mucilagem) durante a secagem e do método usado para sua remoção. Estudos conduzidos na Colômbia, não encontraram diferenças na qualidade do café em pergaminho, independentemente do tipo de remoção da mucilagem, ou seja, se por fermentação natural ou desmucilado mecanicamente (PUERTA-QUINTERO, 1999).

A presença do mesocarpo (mucilagem), em alguns métodos de processamento, tem sido usada para explicar variações no perfil sensorial da bebida do café, como maior ou menor doçura. Ainda hoje, existem hipóteses de que variações na doçura do café estão ligadas à quantidade de sacarose que se movimenta do mesocarpo para a semente, durante a secagem. No entanto, não existem evidências científicas suficientes para comprovar a ocorrência desse fenômeno.

Do ponto de vista fisiológico, a remoção do exocarpo favorece o processo de germinação do embrião (BYTOF et al., 2005). Acredita-se que a germinação ocorre, diferencialmente, em razão da remoção de inibidores presentes no exocarpo e mesocarpo após o despulpamento. Assim, o despulpamento do café permitiria o desencadeamento das diversas reações relacionadas à germinação, como a mobilização de reservas, resultando em diferentes perfis metabólicos, comparativamente ao café natural. Se por um lado, a maior ativação do metabolismo dos cafés em pergaminho resulta no consumo de glicose e frutose, por outro lado, pequenas quantidades de sacarose hidrolisada poderão resultar em maiores conteúdos desses açúcares nos cafés naturais, como resultado da menor atividade fisiológica do embrião favorecendo seu acúmulo.

Análises fisiológicas e bioquímicas têm sido usadas para comprovar as diferenças na atividade metabólica das sementes entre os diferentes métodos de

processamento. A expressão de enzimas específicas da germinação e a reativação da divisão celular, em razão do acúmulo de β -tubulina, podem ser usadas para estudar essas diferenças (VÁZQUEZ-RAMOS; SANCHEZ, 2003; ZHANG et al., 1993). Maiores valores de atividade da enzima isocitrato liase (ICL), assim como maior acúmulo de β -tubulina são encontrados em sementes de café em pergaminho comparativamente aos cafés naturais, indicando assim maior atividade germinativa e fisiológica nas sementes despulpadas (SELMAR et al., 2006).

Além dos maiores teores de glicose e frutose nos cafés naturais, diferenças no conteúdo de vários outros compostos têm sido descritos quando comparados com outros métodos de processamento. Essas variações ocorrem tanto na espécie *Coffea arabica* L. quanto na espécie *Coffea canephora* Pierre. A análise da composição química de café Canéfora, variedade robusta, de lotes processados via úmida, indica menores teores de carboidratos livres (frutose e glicose), ácidos orgânicos (ácido quínico e oxálico), minerais (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+}), trigonelina e maiores teores de ácidos clorogênicos e polissacarídeos da parede celular (arabinogalactanas e mananas) e lipídeos (LELOUP et al., 2004). A análise sensorial das amostras estudadas demonstrou que o café em pergaminho apresentou menor adstringência, amargor, sabor de borracha e madeira e sabor levemente mais frutado e ácido, comparativamente, ao café natural. Acredita-se que as variações na composição química são decorrentes de mecanismos de degradação, isto é, glicose e frutose livres resultantes da hidrólise de polissacarídeos, ácido quínico, proveniente da quebra dos ácidos clorogênicos e ácido fosfórico da degradação de fosfolipídios. O maior tempo de secagem associado à menor taxa de remoção de água são os possíveis fatores considerados responsáveis pela ocorrência dessas reações, observadas com maior intensidade nos cafés naturais, comparativamente, aos cafés em pergaminho (LELOUP et al., 2004).

Nos grãos crus de café Arábica, o acúmulo de aminoácidos livres, a exemplo do ácido γ -amino butírico, varia dependendo da forma de processamento (SELMAR et al., 2004). O ácido γ -amino butírico é acumulado durante o processamento via seca, em teores mais elevados, comparativamente, ao processamento via úmida. Esses resultados reforçam as evidências de que, além dos mecanismos de degradação, diferentes reações metabólicas podem ocorrer durante a pós-colheita e sua extensão depende do processamento (BYTOF et al., 2005). De modo geral, o ácido γ -amino butírico é formado a partir da α -descarboxilação do ácido glutâmico e seu acúmulo representa uma reação ao estresse sofrido pelo vegetal (KINNERSLEV; TURANO, 2000). No caso do grão ou semente de café, esse estresse pode ser decorrente da secagem a partir de diferentes formas de se processamento. No processamento via seca, o tempo disponível para que ocorra a reação de descarboxilação é maior em decorrência da menor taxa de secagem que ocorre nos frutos intactos comparativamente com a secagem do café em pergaminho.

Recentemente, novas técnicas têm sido utilizadas para ampliar a descoberta de metabólitos e com isso avaliar de forma imparcial o conjunto de transformações e reações químicas de sistemas biológicos. Para o café, essas técnicas revelam mudanças marcantes na composição metabólica dos grãos decorrentes do tipo de processamento (JOËT et al., 2010), mas que continuam durante a secagem. Análises não marcadas de amostras coletadas durante três safras consecutivas na região da Mantiqueira de Minas Gerais, Brasil, revelou clara distinção na composição química do grão cru de café processado via seca e via úmida com desmucilamento mecânico (TAVEIRA, 2014).

2.6 Análise sensorial do café

Para a indústria de alimentos, em geral, a avaliação sensorial tem diversas aplicações, entre elas o controle e a garantia da qualidade, o desenvolvimento e melhoria de novos produtos disponíveis no mercado (COSTELL; DURAN, 1981).

Para o café, a avaliação sensorial é feita por meio dos órgãos do sentido, especialmente gosto, olfato e tato. Embora possa parecer uma avaliação subjetiva, a análise sensorial é o método mais utilizado para a caracterização da qualidade de bebida do café, em vista da complexidade dos fatores que envolvem a manifestação de aromas e sabores na bebida.

Dentre as metodologias disponíveis para a avaliação sensorial de cafés, são comumente utilizadas no Brasil a Classificação Oficial Brasileira (COB) (BRASIL, 2003a) e a da Associação Americana de Cafés Especiais (Specialty Coffee Association of América ou SCAA) (LINGLE, 2011). A prova de xícara tradicional é largamente empregada para a classificação da bebida dos cafés commodities, classificando-os em bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado, rio e rio zona (BRASIL, 2003a). Contudo, não há um critério uniforme ou padronização de procedimentos para a sua realização, especialmente com relação à torração do café. Esse tipo de avaliação se baseia em poucos atributos do produto, como acidez, corpo e ausência de defeitos (FERIA-MORALES, 2002), sendo, por isso, pouco utilizado para a análise sensorial de cafés especiais.

Na avaliação de cafés especiais, além da nota global da bebida, são importantes as pontuações obtidas em cada um dos atributos que compõem a sua qualidade global, tendo em vista a identificação de características sensoriais distintas entre diferentes amostras e, ao mesmo tempo, a descrição das notas ou nuances específicas de aroma e sabor encontradas em uma determinada amostra.

Dentre as metodologias disponíveis para análise sensorial do café, considera-se a mais adequada para cafés especiais a proposta por Lingle (2011) e adotada pela SCAA, que classifica bebidas com nota final igual ou acima de 80 pontos como especiais. Na avaliação sensorial de cafés especiais, os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada pela fragrância/aroma, sabor, sabor residual, acidez, corpo, equilíbrio e impressão global, e uma objetiva, representada pela uniformidade, xícara limpa e doçura. Os resultados finais são expressos de acordo com a escala de classificação de cafés especiais, segundo a descrição exemplar, excelente, muito bom e bom (SCAA, 2012). Essa metodologia permite identificar as principais características sensoriais existentes entre diferentes amostras de café, assim como descrever as notas de aroma e sabor predominantes, fornecendo subsídios importantes para a escolha da matéria-prima (café cru), de acordo com a finalidade desejada (café de coador, café expresso, etc.).

Para que o método de análise sensorial proposto por Lingle (2011) seja aplicado corretamente, devem ser seguidas todas as orientações e prescrições estabelecidas nos protocolos e procedimentos, em todas as etapas do preparo e análise do café, destacando aqueles relacionados com o preparo das amostras e com a qualidade da água. Tais características tornam esse método bastante aceito e utilizado em qualquer lugar do mundo, em que se comercializa e consome café especial.

As análises sensoriais são realizadas por um painel de degustadores devidamente treinados e habilitados pela SCAA, denominados juízes certificados (*SCAA certified cupping judges*), os quais são submetidos a treinamentos específicos para a comprovação da percepção sensorial. Periodicamente, eles participam de calibrações para aferição e/ou aprimoramento das suas habilidades sensoriais, especialmente as olfativas e as

gustativas, aumentando a representatividade da análise sensorial realizada por essa metodologia.

Inúmeros trabalhos têm sido realizados objetivando estabelecer análises laboratoriais que relacionem a qualidade do café com compostos químicos presentes nos grãos (CLIFFORD, 1985), visando uma melhor compreensão da qualidade. Mesmo conseguindo resultados satisfatórios de correlação entre alguns métodos químicos e a qualidade sensorial do café, esses ainda não são aceitos oficialmente para avaliar a qualidade desse produto e, por isso, quando são utilizados, não dispensam a avaliação dos provadores (SCHMIDT; MIGLIORANZA, 2011).

2.7 Composição química do café

O grão cru do café apresenta uma matriz química bastante complexa. São vários compostos presentes no grão cru que participam de diversas reações químicas responsáveis por alterar significativamente a composição química final (CLIFFORD, 1985; MOREIRA; TRUGO; MARIA, 2000). Essa complexidade torna-se ainda maior após o processo de torração dos grãos, resultando na transformação de novos compostos (ILLY; VIANI, 2005).

2.7.1 Ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos são caracterizados por possuírem átomos de carbono. Destes, o maior grupo é o dos ácidos carboxílicos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Os ácidos carboxílicos têm propriedades organolépticas importantes. O sabor azedo característico foi o primeiro critério para a classificação destes compostos. Os ácidos fórmico (metanoico) e acético (etanoico) têm cheiro intenso, irritante e paladar azedo. Os ácidos de quatro a

oito átomos de carbono têm odores desagradáveis. Entretanto, em pequenas concentrações, os ácidos carboxílicos são responsáveis por muitas fragrâncias.

A sensação de gosto primária no café é a acidez. O baixo peso molecular dos ácidos orgânicos contribui para o sabor e aroma do café, visto que a maioria deles é volátil (GALLI; BARBAS, 2004). A acidez do café, juntamente com o aroma e o amargor, é fator-chave para o impacto sensorial final da bebida. O grau de acidez das duas espécies de café mais importantes, *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, difere significativamente. A bebida do café arábica é mais ácida do que a bebida do canéfora. Em geral, os ácidos presentes no café são responsáveis por cerca de 11% do peso do grão cru e por cerca de 6% do peso dos grãos de café torrado. Os principais ácidos presentes nos grãos crus de café são o cítrico, o málico, os clorogênicos e o quínico (GINZ et al., 2000).

Embora não seja o maior em volume dentre os ácidos, os ácidos orgânicos tendem a produzir maior quantidade de íons de hidrogênio. Este aumento das concentrações de íons de hidrogênio, tal como medido pelo pH do ácido, é associado com a acidez. A ordem de intensidade destes ácidos presentes no café é, geralmente, dada como ácido tartárico, cítrico, málico, láctico e acético. Também tem sido demonstrado que maiores concentrações de ácidos impactam significativamente a percepção dos outros sabores básicos, particularmente o doce (LINGLE, 2011).

Além disso, cada ácido terá o seu próprio sabor característico, tal como o sabor de limão do ácido cítrico, o sabor amanteigado do ácido láctico e o sabor de maçã do ácido málico que são, muitas vezes, mais perceptíveis como odores do que como sabores. O ácido acético é um caso especial no café. A sua presença é, muitas vezes, resultado do processo de fermentação do café. Desse modo, controlar a fermentação durante o processamento do café é um aspecto crítico para a garantia da qualidade do produto final. Se quantidades demasiadas

de ácido acético são formadas, o grão cru desenvolve um sabor fermentado altamente desagradável (LINGLE, 2011).

De modo geral, os ácidos orgânicos conferem brilho e vivacidade à bebida do café, justificando o fato de cafés com elevada acidez apresentarem diferencial de preço na comercialização (LINGLE, 2011).

2.7.2 Bioativos: cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos

Pesquisas elucidam os mecanismos pelos quais compostos bioativos não nutrientes, presentes nos alimentos, atuam na redução do risco de algumas doenças. As ações desses compostos no organismo são sugeridas como essenciais à manutenção da saúde (GUGLIUCCI; BASTOS 2009).

No café, os bioativos frequentemente citados na literatura são cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos. O conteúdo desses compostos no café cru varia amplamente de uma espécie para outra, sendo possível, também, encontrar variações dentro de uma mesma espécie ou variações relacionadas à utilização de diferentes métodos analíticos (BERTRAND et al., 2008; MOREIRA; TRUGO; MARIA, 2000;).

Os níveis desses bioativos presentes no café cru têm sido estudados tanto para a discriminação das espécies quanto para avaliação do grau de torração, da qualidade e das propriedades funcionais do café (BICCHI et al., 1995; MAZZAFERA; CARVALHO, 1991).

Do ponto de vista da qualidade sensorial, a importância de compostos não voláteis do café, como a trigonelina e os ácidos clorogênicos, está relacionada com a função destes como precursores de outros compostos voláteis que contribuem para o sabor e o aroma do café torrado (FARAH et al., 2006; MARIA et al., 1995; TRUGO; MACRAE, 1984).

Os compostos fenólicos estão presentes nos grãos de café em grandes proporções e compreendem um grupo heterogêneo de substâncias, o qual é responsável pela adstringência do café e contribui, de maneira significativa, para determinar o sabor da bebida. O grão de café tem vários tipos de compostos fenólicos. E segundo Moreira, Trugo e Maria (2000), os principais são os ácidos clorogênicos, em virtude da quantidade encontrada no grão.

Os ácidos clorogênicos são formados, principalmente, pela esterificação do ácido quínico com o ácido cafeico, felúrico ou p-cumárico (TRUGO; MACRAE, 1984). A esterificação também pode ocorrer entre o ácido quínico e dois ácidos cafeicos ou, então, entre o ácido quínico mais o ferúlico (MOREIRA; TRUGO; MARIA, 2000). Esses ácidos são conhecidos por serem responsáveis pela pigmentação, formação do aroma e adstringência do café (MARIA et al., 1995; TRUGO; MACRAE, 1984).

Os ácidos clorogênicos (CGAs) sofrem degradação durante a torração, produzindo os ácidos fenólicos livres. Sendo assim, os CGAs são precursores importantes de ácidos fenólicos livres e, conseqüentemente, dos compostos fenólicos voláteis que participam da formação do aroma do café torrado (MOREIRA; TRUGO; MARIA, 2000). Os compostos fenólicos voláteis, de maneira geral, apresentam características sensoriais bem variadas, sendo responsáveis pelo odor de matéria queimada, de especiarias, de cravo, de fumo e, também, pela sensação de amargor e adstringência encontrada no café (DART; NURSTEN, 1985). Esta última parece estar associada, principalmente, à presença dos ácidos dicafeoilquínicos.

Em estudos dos isômeros individuais, por HPLC, foram descritos valores de 5,8%, 0,87% e 0,25%, para os ácidos cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e 5-feruloilquínico, respectivamente, em cafés arábica (TRUGO; MACRAE, 1984). Segundo os mesmos autores, o 5-cafeoilquínico foi o ácido predominante, representando 66% do conteúdo total de ácidos clorogênicos em café arábica.

Farah et al. (2006) identificaram oito ácidos clorogênicos, sendo o ácido cafeoilquínico o principal, responsável por 83% do total. Os maiores conteúdos (7,02 g/100 g) de CGA em grãos crus foram encontrados em cafés de pior qualidade (bebida rio zona) e os menores conteúdos (5,78 g/100 g), em cafés de melhor qualidade (bebida mole). Fortes correlações foram encontradas entre os níveis da maioria dos monoésteres de CGA e a baixa qualidade de bebida. Os níveis de 5-ACQ se correlacionaram positivamente com cafés de baixa qualidade de bebida e com *off-flavor* rio.

A cafeína é um derivado da xantina e tem sabor amargo característico e, segundo Trugo e Macrae (1984), é importante para o sabor do café. Este composto relativamente estável durante a torração, embora não participe de nenhuma reação específica, tem importante propriedade farmacológica, que é o seu efeito estimulante (BICCHI et al., 1995; MACRAE, 1985). Rodarte et al. (2009) não encontraram diferenças no teor de cafeína entre grãos crus e torrados, confirmando sua estabilidade térmica durante a torração.

A quantidade de cafeína presente no café é responsável por 10% de seu amargor, no entanto, o teor de cafeína não tem efeito direto na qualidade sensorial (ILLY; VIANI, 2005). Valores médios de cafeína entre 0,62% e 1,82% foram relatados por Ky et al. (2001) e Mazzafera e Carvalho (1991), para o café arábica. Silvarolla, Mazzafera e Fazuoli (2004) citam valores de cafeína inferiores a 0,1% para alguns genótipos de café arábica originários da Etiópia. Em alguns trabalhos há relatos de maiores teores de cafeína em amostras de café arábica de alta qualidade, quando comparadas com outras amostras de arábica de menor qualidade sensorial (FARAH et al., 2006; FRANCA et al., 2005). No entanto, Dessalegn et al. (2008) observaram associações negativas e significativas entre o teor de cafeína e os atributos sensoriais do café, tais como acidez, corpo e sabor. Os mesmos autores relacionaram baixos teores de cafeína com características físicas desejáveis no grãos crus de café, tais como tamanho,

forma e uniformidade. Acredita-se que a biossíntese de cafeína e sua acumulação nos grãos crus possam ser mais pronunciadas durante o estresse do que em condições favoráveis (DESSALEGN et al., 2008).

Dessalegn et al. (2008) discriminaram genótipos de café arábica em função do teor de cafeína, da qualidade da bebida e das características físicas dos grãos. Os genótipos que apresentaram melhor qualidade de bebida obtiveram teores médios de cafeína e não apresentaram características físicas desfavoráveis (quanto à forma, ao tamanho e à uniformidade).

A trigonelina é um derivado da piridina conhecida por contribuir indiretamente na formação de aromas desejáveis durante a torração (KY et al., 2001; MACRAE, 1985). O prévio conhecimento da concentração de trigonelina permite estimar o potencial de degradação para a formação dos compostos voláteis e do ácido nicotínico no processo de torração (AGUIAR et al., 2005; MAZZAFERA, 1991; NOGUEIRA; TRUGO, 2003). De acordo com Viani e Horman (1974), entre os inúmeros produtos formados por ela durante a torração, cerca de nove deles são notados no aroma do café.

O teor de trigonelina em grãos crus é variável em função da espécie, apresentando, em geral, maiores valores em *Coffea arabica* (MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999). Todavia, entre as variedades de *C. canephora* avaliadas por Aguiar et al. (2005), as diferenças na concentração desse alcaloide foram bastante reduzidas, sugerindo não ser bom parâmetro de discriminação entre variedades dessa espécie.

Farah et al. (2006), trabalhando com cafés de diferente qualidade de bebida, encontraram relação entre a qualidade e o teor de trigonelina nos grãos crus. Com a redução da qualidade, os níveis de trigonelina reduziram 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. Estes níveis, tanto maiores (MARTIN; PABLO; GONSALEZ, 1998; MAZZAFERA, 1991) quanto menores (FRANCA

et al., 2005), estão de acordo com os relatados por alguns autores que analisaram cafés brasileiros, os quais podem ser atribuídos a diferentes métodos analíticos.

2.7.3 Ácidos graxos

Os lipídeos são um amplo grupo de compostos quimicamente diversos que são solúveis em solventes orgânicos. Os compostos principais dos lipídeos são os ácidos graxos, compostos que contêm uma cadeia alifática e um grupo ácido carboxílico (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O conteúdo de lipídeos em grãos de café varia de 10% a 17%. De modo geral, o café Canéfora tem menores teores de lipídeos, quando comparado ao café Arábica (FELDMAN; RYDER; KUNG, 1969). A maioria dos lipídeos encontra-se na fração de óleo localizada no endosperma dos grãos (WILSON; PETRACCO; ILLY, 1997), estando somente uma pequena quantidade (0,2% a 0,3%) localizada na camada de cera que circunda o grão.

O óleo do café é composto, principalmente, por triacilgliceróis com ácidos graxos em proporções semelhantes às encontradas em óleos vegetais comestíveis (SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006). Os triacilgliceróis são importantes transportadores de aroma no grão de café torrado (PETRACCO, 2005). 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).

Segundo Amaral et al. (2006), fatores como cultivar, condições de cultivo, clima, tipo de solo e maturidade da planta podem afetar a composição de óleos presentes nos vegetais. Visto que a composição de ácidos graxos depende de vários fatores, principalmente de espécies e variedades (MURKOVIC et al.,

1996), a comparação de padrões de ácidos graxos é uma ferramenta útil para a discriminação de cafés (DAGNE; JONSSON, 1997).

A fração de lipídeos de grãos de café tem mostrado ser de grande interesse, visto que vários componentes do óleo de café foram utilizados com sucesso na diferenciação das duas principais espécies cultivadas, principalmente ácidos graxos (RUI ALVES et al., 2003), esteróis (CARRERA et al., 1998), triacilgliceróis (GONZÁLEZ et al., 2001), tocoferóis (GONZÁLEZ et al., 2001) e ésteres de diterpeno (RUBAYIZA; MEURENS, 2005; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006), analisados por métodos cromatográficos (CARRERA et al., 1998; GONZÁLEZ et al., 2001; RUI ALVES et al., 2003; SPEER; KÖLLING, 2006;) ou espectroscópicos (RUBAYIZA; MEURENS, 2005).

Os principais ácidos graxos presentes no óleo de café são mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolênico (C18:3), araquídico (C20:0), eicosenoico (C20:1) e ácido behênico (C22: 0) (FOLSTAR, 1985; JOËT et al., 2010; LERCKER et al., 1996; MURATORE et al., 1998). Cromatografia a gás capilar (CGC), com detector de ionização de chama (FID), é o método analítico mais popular para a quantificação de ácidos graxos, bem como os ésteres metílicos correspondentes, em óleos e gorduras (APARICIO; FERRERO; ALONSO, 1994; BERTRAND et al., 2008).

Avaliando o efeito de diferentes genótipos e ambientes e sua interação sobre a composição de ácidos graxos em grãos crus de café, Bertrand et al. (2008) observaram um alto potencial dos ácidos palmítico, margárico, esteárico, linoleico, linolênico, araquídico e eicosenoico para a diferenciação de ambientes e genótipos de cafés, embora a interação entre esses dois fatores não tenha sido significativa. Essa eficiência dos ácidos graxos para a discriminação de origem também tem sido demonstrada em outras frutas e grãos, como, por exemplo,

pistache (ARENA et al., 2007), avelã (AMARAL et al., 2006) e oliva (OLLIVIER et al., 2006).

Segundo Bertrand et al. (2008), o alto valor discriminatório dos ácidos graxos certamente está associado com os efeitos altamente significativos de fatores genéticos e ambientais sobre essas características, como observado anteriormente em outras sementes ricas em lipídeos, como soja (REBETZKE et al., 2001) ou girassol (IZQUIERDO et al., 2002).

No caso do café, Rui Alves et al. (2003) analisaram vinte e quatro amostras de diferentes origens botânicas por meio da cromatografia gasosa com detector de ionização de chama e concluíram que o perfil de ácidos graxos pode ser utilizado como marcador de variedades.

Em vários trabalhos têm sido identificados e quantificados os principais ácidos graxos existentes nos grãos crus de café (ALVES et al., 2003; BERTRAND et al., 2008; JOËT et al., 2010). No entanto, estudos que visem correlacionar o perfil desses graxos presentes no grão cru com a qualidade final da bebida ainda são escassos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. E. et al. Diversidade química de cafeeiros na espécie *Coffea canephora*. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 577-582, 2005.

ALPIZAR, E. et al. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. **In: ASIC 2004. 20th International Conference on Coffee Science, Bangalore, India, 11-15 October 2004**. Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), 2005. p. 322-327.

ALVES, H. M. R. et al. Características ambientais e qualidade da bebidas dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 18-29, mar/abr. 2011.

ALVES, R. M. et al. Contribution of FA profile obtained by high-resolution GC/Chemometric techniques to the authenticity of green and roasted coffee varieties. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 80, n. 6, p. 511-517, June 2003.

AMARAL, J. S. et al. Influence of cultivar and environmental conditions on the triacylglycerol profile of hazelnut (*Corylus avellana* L.). **Journal of agricultural and food chemistry**, Washington, v. 54, n. 2, p. 449-456, Jan. 2006.

APARICIO, R.; FERRERO, L.; ALONSO, V. Effect of climate on the chemical composition of virgin olive oil. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 292, n. 3, p. 235-241, July 1994.

ARENA, E. et al. Distribution of fatty acids and phytosterols as a criterion to discriminate geographic origin of pistachio seeds. **Food Chemistry**, London, v. 104, n. 1, p. 403-408, Nov. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS, BSCA. **Café especial:** produção no Brasil deve ultrapassar Colômbia em menos de dois anos. Varginha, 2017. Disponível em: <<http://bsca.com.br/noticia.php?id=453>>. Acesso em: 20 maio 2017.

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**, London, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, May 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of agricultural science**, Toronto, v. 4, n. 5, p. 181-190, Apr. 2012.

BARBOSA, J. N. et al. Spatial distribution of coffees from Minas Gerais state and their relation with quality. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, p. 237-250, 2010.

BENZÉCRI, J. P. **Correspondence analysis handbook**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1992.

BERTRAND, B. et al. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, Oxford, v. 26, n. 9, p. 1239-1248, Sept. 2006.

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, Mar. 2008.

BERTRAND, B. et al. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. **Food chemistry**, London, v. 135, n. 4, p. 2575-2583, July 2012.

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, n. 6, p. 1549-1555, June 1995.

BORÉM, F. M. et al. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 52, p. 1-6, 2013.

BORÉM, F. M. **Handbook of coffee post-harvest technology**. Norcross, Georgia: Gin Press, 2014. v. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei 10.711**, de 05 de agosto de 2003. Brasília, 2003b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/registro/registro-nacional-cultivares>>. Acesso em: 20 maio 2017.

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. 2003a. Seção 1, p. 22-29.

BYFIELD, G. E.; UPCHURCH, R. G. Effect of temperature on delta-9 stearoyl-ACP and microsomal omega-6 desaturase gene expression and fatty acid content in developing soybean seeds. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 4, p. 1698-1704, July 2007.

BYTOF, G. et al. Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, Heidelberg, v. 220, n. 3, p. 245-250, Nov. 2005.

BYTOF, G. et al. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.

CARRERA, F. et al. Authentication of green coffee varieties according to their sterolic profile. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 370, n. 2-3, p. 131-139, Sept. 1998.

CARVALHO, A.; MONACO, L. C.; SCARANARI, H. J. Coffee breeding XXIV: yield variability of imported coffee, with special reference to the coffee from ethiopia and sudan. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 215-239, 1962.

CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008.

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

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.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. New York: Croom Helm, 1985. p. 305-374.

CLIFFORD, M. N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J. R. Tannins in wet-processed coffee beans and coffee pulp. **Food Chemistry**, London, v. 40, n. 2, p. 191-200, Oct. 1991.

CORTEZ, J. G. Aptidão climática para qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. Belo Horizonte: **Informe Agropecuário**, [S.l.], v. 18, n. 187, p. 27-31, fev. 1997.

COSTELL, E.; DURAN, L. El análisis sensorial en el control de calidad de los alimentos. **Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, La Rioja, v. 21, n. 1, p.1-10, 1981.

DAGNE, K.; JONSSON A. Oil content and fatty acid composition of seeds of *Guizotia Cass* (Compositae). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Washington, v. 73, n. 3, p. 274-278, Mar. 1997.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

DART, S. K.; NURSTEN, H. E. Volatile components. In: MACRAE, R.; CLARKE, R. J. (Ed.). **Coffee chemistry**. London: Elsevier Applied Science, 1985. v. 1, p. 223-265.

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, Sept. 2003.

DESSALEGN, Y. et al. Genetic diversity and correlation of bean caffeine content with cup quality and green bean physical characteristics in coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 88, n. 10, p. 1726-1730, Aug. 2008.

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. Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 5, p. 1105-1113, Feb. 2005.

FAZUOLI, L. C. et al. Melhoria do cafeeiro: variedade tipo arabica obtidas no Instituto Agronômico em Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 63-215.

FELDMAN, R. S.; RYDER, W. S.; KUNG, J. T. Importance of nonvolatile compounds to the flavor of coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 17, n. 4, p. 733-739, July 1969.

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. et al. The potential for high quality bourbon coffees from different environments. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 5, n. 10, p. 87, Sept. 2013.

FLAMENT, I. **Coffee flavour chemistry**. Chichester: J. Wiley, 2002. 410 p.

FOFANA, B. et al. Gene expression of stearoyl-ACP desaturase and delta12 fatty acid desaturase 2 is modulated during seed development of flax (*Linum usitatissimum*). **Lipids**, Champaign, v. 41, n. 7, p. 705-712, July 2006.

FOLSTAR, P. Lipids. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Chemistry/Elsevier, 1985. v. 1, p. 203-222.

FRANCA, A. S. et al. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 90, n. 1-2, p. 84-89, 2005.

GALLI, V.; BARBAS, C. Capillary electrophoresis for the analysis of short-chain organic acids in coffee. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1032, n. 2, p. 299-304, Mar. 2004.

GINZ, M. et al. Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 211, p. 404-410, Jan. 2000.

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

GIOMO, J. C. et al. Evaluation of Green Bean Physical Characteristics and Beverage Quality of Arabica Coffee Varieties in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 24., 2012, San José. **Proceedings...** San José: ASIC, 2012.

GIOMO, J. C. et al. Qualidade de grãos de Bourbon Amarelo para produção de cafés especiais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** Brasília: Embrapa-Café, 2011a. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3082>>. Acesso em: 25 maio 2017.

GIOMO, J. C. et al. Qualidade física de grãos de genótipos, cultivares e híbridos de cafeeiro Arábica em seleção no instituto agronômico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** Brasília: Embrapa-Café, 2011b. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3123>>. Acesso em: 25 maio 2017.

GONZÁLEZ, A. G. et al. HPLC analysis of tocopherols and triglycerides in coffee and their use as authentication parameters. **Food Chemistry**, London, v. 73, n. 1, p. 93-101, Apr. 2001.

GUGLIUCCI, A.; BASTOS, D. H. M. Chlorogenic acid protects paraoxonase 1 activity in high density lipoprotein from inactivation caused by physiological concentrations of hypochlorite. **Fitoterapia**, [S.l.], v. 80, n. 2, p. 138-142, 2009.

GUYOT, B. et al. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. **Plantation Recherche, Développement**, Versalhes, v. 3, n. 4, p. 272-280, juin/aout. 1996.

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

ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2011.

IZQUIERDO, N. et al. Night temperature affects fatty acid composition in sunflower oil depending on the hybrid and phenological stage. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, n. 2-3, p. 115-126, Sept. 2002.

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, Feb. 2010.

KINNERSLEY, A. M.; TURANO, F. J. Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v. 19, n. 6, p. 479-509, Nov. 2000.

KITILA, O. et al. Variability of quantitative traits in limmu coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia. **International Journal of Agricultural Research**, Dubai, v. 6, n. 6, p. 482-493, 2011.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **Food Research Technology**, Mysore, v. 223, p. 195-201, Dec. 2006.

KOUNDOURAS, S. et al. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997.

Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, Bordeaux, v. 33, n. 4, p. 149-160, Dec. 1999.

KY, C. L. et al. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild coffee arabica L. and C. canephora P. accessions. **Food Chemistry**, London, v. 75, n. 2, p. 223-230, Nov. 2001.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, nov./dez. 2007.

LELOUP, V. et al. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. CD ROM.

LERCKER, G. et al. La frazione lipidica del caffè. 2: su alcuni parametri di qualificazioni. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 35, n. 353, p. 1186-1193, 1996.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. 4. ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MACRAE, R. Nitrogenous compounds. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1985. cap. 4, p. 115-152.

MARIA, C. A. B. et al. Simultaneous determination of total chlorogenic acids, trigonelline and caffeine in green coffee samples by high performance gel filtration chromatography. **Food Chemistry**, London, v. 52, n. 4, p. 447-449, 1995.

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.

MARTIN, M. J.; PABLO, S.; GONSALEZ, G. A. Discrimination between arabica and Robusta green coffee varieties according to their chemical composition. **Talanta**, London, v. 46, n. 5, p. 1259-1264, Aug. 1998.

MAZZAFERA, P. Trigonelline in coffee. **Phytochemistry**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 2309-2310, 1991.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea L.*) by interspecific hybridization. **Euphytica**, Wageningen, v. 59, n. 1, p. 55-60, 1991.

MEDINA-FILHO, H. P. et al. Breeding of Arabica coffee at IAC, Brazil: objectives, problems and prospects. **Acta Horticulturae**, Rome, v. 745, p. 393-408, 2007.

MONTAGNON, C.; MARRACCINI, P.; BERTRAND, B. **Specialty Coffee: Managing Quality – Breeding for coffee quality**. [S.l.]: International Plant Nutrition Institute, 2012.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; MARIA, C. A. B. 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.

MURATORE, G. et al. La frazione lipídica del caffè in relazione al processo di tostatura. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 37, n. 367, p. 161-164, 1998.

MURKOVIC, M. et al. Variability of fatty acid content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo L.*). **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 203, n. 3, p. 216-219, May 1996.

NOGUEIRA, M.; TRUGO, L. C. Distribuição de isômeros de ácido clorogênico e teores de cafeína e trigonelina em cafés solúveis brasileiros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 296-299, maio/ago. 2003.

OBERTHÜR, T. et al. Regional relationships between inherent coffee quality and growing environment for denomination of origin labels in Nariño and Cauca, Colombia. **Food Policy**, London, v. 36, n. 6, p. 783-794, Dec. 2011.

OLLIVIER, D. et al. Differentiation of French virgin olive oil RDOs by sensory characteristics, fatty acid and triacylglycerol compositions and chemometrics. **Food Chemistry**, London, v. 97, n. 3, p. 382-393, Aug. 2006.

PASCOAL, L. N. **Aroma de café**: guia prático para apreciadores de café. São Paulo: Fundação Educar-DPaschoal, 1999.

PEREIRA, S. P.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. **Cafés especiais**: iniciativas brasileiras e tendências de consumo. Belo Horizonte: EPAMIG, 2004. (Documentos, 41).

PETRACCO, M. Our everyday cup of coffee: the chemistry behind its magic. **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 82, n. 2, p. 1161-1167, Aug. 2005.

PRODOLLIET, J. et al. Coffee quality assurance: current tools and perspectives. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. p. 120-145.

PUERTA-QUINTERO, G. I. P. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. **Cenicafé**, Caldas, v. 50, n. 1, p. 78-88, jan./mar. 1999.

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: 10 jun. 2016.

REBETZKE, G. J. et al. Genetic background and environment influence palmitate content of soybean seed oil. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1731-1736, Nov. 2001.

RIBEIRO, D. E. et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 11, n. 27, p. 2412-2422, July 2016.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO₂. **Journal of stored products research**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 341-348, 2011.

ROBERT, P. **Le grand Robert de la langue française**: dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française. Paris: Le Robert, 1985.

RODARTE, M. P. et al. 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.

RUBAYIZA, A. B.; MEURENS, M. Chemical discrimination of Arabica and Robusta coffees by Fourier transform raman spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v. 53, n. 12, p. 4654-4659, May 2005.

RUI ALVES, M. et al. Contribution of FA profile obtained by high-resolution GC/ chemometric techniques to the authenticity of green and roasted coffee varieties. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 80, n. 6, p. 511-517, June 2003.

SCHMIDT, C. A. P.; MIGLIORANZA, É. A análise sensorial e o café: uma revisão. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 1, n. 2, p. 16-24, jul. 2011.

SELMAR, D. et al. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffee are interconnected with an active seed metabolism. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings**... Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD ROOM.

SELMAR, D. et al. Germination of coffee seeds and its significance for coffee quality. **Plant Biology**, New York, v. 8, n. 02, p. 260-264, Feb. 2006.

SERRANO, C.E.B.; CASTRILLÓN, J.J.C. Influência de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedente del ecotopo 206 B en Colombia. **Cenicafé**, Manizales, v.53, n.2, p.119-131, abr./jun. 2002.

SILVAROLLA, M. B.; MAZZAFERA, P.; FAZUOLI, L. C. A naturally decaffeinated arabica coffee. **Nature**, London, v. 429, n. 6994, p. 826-826, June 2004.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **History**. 2016. Disponível em: <http://www.scaa.org/?page=history>. Acesso em: 30 jul. 2016.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Specialty coffee facts & figures**. 2012. Disponível em: <<http://www.scaa.org/PDF/resources/facts-and-figures.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

SPEER, K.; KÖLLING-SPEER, I. The lipid fraction of the coffee bean. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 201-216, Jan./Mar. 2006

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

TAVEIRA, J. H. S. **Metabolite profile and sensory quality of arabica genotypes grown in different altitudes and processed by different post-**

harvest methods. 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

TESSEMA, A. et al. Variability and association of quality and biochemical attributes in some promising *Coffea arabica* germplasm collections in southwestern Ethiopia. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**, Rawalpindi, v. 5, n. 4, p. 302-316, Apr. 2011.

TONIETTO, J. Afinal, o que é Terroir? **Bon Vivant**, Flores da Cunha, v. 8, n. 98, p. 08, abr. 2007.

TRUGO, L. C.; MACRAE, R. Chlorogenic acid composition of instant coffees. **Analyst**, Cambridge, v. 109, n. 3, p. 263-266, 1984.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of Science Food and Agriculture**, Sussex, v. 86, n. 1, p. 197-204, Oct. 2006.

VÁZQUEZ-RAMOS, Jorge M.; DE LA PAZ SÁNCHEZ, María. The cell cycle and seed germination. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 13, n. 02, p. 113-130, June 2003.

VIANI, R.; HORMAN, I. Thermal behavior of trigonelline. **Journal of Food Science**, London, v. 39, n. 6, p. 1216-1217, 1974.

VINCENT, J. C. Green coffee processing. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.) **Technology**. New York: Elsevier, 1987. p. 1-33.

WILSON, A. J.; PETRACCO, M.; ILLY, E. Some preliminary investigations of oil biosynthesis in the coffee fruit and its subsequent re-distribution within green and roasted beans. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON THE CHEMISTRY OF COFFEE, 17., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: ASIC, 1997.

ZHANG, J. Z. et al. Two classes of isocitrate lyase genes are expressed during late embryogeny and postgermination in *Brassica napus* L. **Molecular and General Genetics**, New York, v. 238, n. 1-2, p. 177-184, Apr. 1993.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE SENSORIAL DE CAFÉ ARÁBICA PRODUZIDO A PARTIR DE DIFERENTES AMBIENTES, GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO

RESUMO

Baseado nos fatores genótipo, ambiente e método de processamento, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a qualidade a partir de descritores sensoriais do café. Durante as safras 2010 e 2011, foi analisada a qualidade sensorial de variedades de fruto vermelho e amarelo (*Coffea arabica* L.) cultivadas em ambientes com diferentes vertentes e altitude variando entre 932 e 1391 m na região Mantiqueira de Minas, sul do estado de Minas Gerias, Brasil. Os métodos de processamento adotados foram: via seca e via úmida com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto. Todos os procedimentos de colheita e pós-colheita foram realizados conforme as principais tecnologias para produção de cafés especiais. A análise sensorial foi realizada utilizando-se a metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). As variáveis foram analisadas por meio da Análise de Correspondência. A qualidade do café se diferenciou com perfis sensoriais únicos em ambientes de cultivo correspondentes a altitudes acima de 1100 m. Os descritores sensoriais, sabor, acidez, corpo e doçura corresponderam ao ambiente de cultivo e variaram em função do método de processamento e cor do fruto. Cafés de variedades de fruto vermelho processadas por via seca não apresentaram diferenciação no perfil sensorial com correspondência à altitude do ambiente de cultivo. A qualidade do café não foi discriminada a partir da sua correspondência com a vertente do ambiente de cultivo.

Palavras-chave: Cafés especiais. Altitude. Vertente. Análise de correspondência. Cor do fruto.

1 INTRODUÇÃO

O café é um produto de *terroir*, ou seja, é um produto cujas características sensoriais dependem diretamente do ambiente de cultivo, das características genéticas inerentes às variedades e das tecnologias adotadas nos processos pós-colheita (ALVES et al., 2011; AVELINO et al., 2005; BERTRAND et al., 2006). Portanto, trata-se de um fenômeno de alta complexidade.

Climas específicos, solos e relevos diferenciados e faixas de altitudes representam alguns dos aspectos naturais do ambiente que interferem na qualidade do café. Dentre esses aspectos, os efeitos da altitude associada com temperatura são reconhecidos em vários estudos (DECAZY et al., 2003; SERRANO; CASTRILLÓN, 2002).

Algumas abordagens específicas sobre a qualidade da bebida de café arábica revelam que o sabor e aroma são características organolépticas determinadas essencialmente pelo genótipo, servindo inclusive como ferramenta para seleção visando à melhoria da qualidade da bebida do café arábica (TESSEMA et al., 2011). No entanto, além de fatores ambientais, genéticos e de outros relacionados ao manejo da lavoura cafeeira, as diferenças encontradas na qualidade da bebida do café também estão diretamente associadas com alterações que ocorrem nos grãos durante as etapas de processamento (BYTOF et al., 2005, 2007; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; SELMAR et al., 2006).

O conceito de café especial está ligado principalmente ao prazer que a bebida pode proporcionar ao consumidor (GIOMO; BORÉM, 2011). A demanda por cafés especiais no mercado mundial cresce em proporções muito maiores do que a demanda por cafés comuns. Além disso, no mercado de cafés especiais existe a procura contínua por bebidas com características sensoriais únicas. Isto explica porque países produtores de café estão buscando compreender fatores

ambientais, características genéticas e tecnologias de processos pós-colheita que afetam a qualidade (AVELINO et al., 2005).

Em países como Honduras, Costa Rica, Guatemala e Colômbia, foram desenvolvidas pesquisas abordando as características sensoriais do café a partir do ambiente, genótipo e métodos de processamento. São estudos conduzidos próximos à linha do Equador que constatarem o efeito do ambiente sobre a qualidade final, revelado em altitudes acima de 1400 m (AVELINO et al., 2005; BERTRAND et al., 2006; DECAZY et al., 2003; GUYOT et al., 1996; SERRANO; CASTRILLÓN, 2002). Na medida em que se afasta da linha do Equador, as faixas de aptidão para a produção de cafés especiais exigem altitudes menos elevadas. Quanto mais as latitudes se aproximam dos polos da terra, menores são as temperaturas. Contudo, nos países ou regiões localizadas mais ao sul da linha do Equador ainda restam questionamentos sobre em que altitude se origina cafés com qualidades distintas e com perfis sensoriais correspondentes ao ambiente de cultivo.

Assim, buscou-se no presente estudo caracterizar a qualidade a partir de descritores sensoriais do café considerando os aspectos ambientais altitude e vertente, para diferentes grupos de variedades e métodos de processamento ao longo de duas safras consecutivas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização do experimento

A coleta das amostras de café (*Coffea arabica* L.) foi realizada ao longo de duas safras consecutivas (2010/11 e 2011/12), em lavouras comerciais de propriedades localizadas no município de Carmo de Minas, Minas Gerais, Brasil.

O ambiente de cultivo do café foi estratificado em três classes de altitude (inferior a 1.000 m, entre 1.000 e 1.200 m e superior a 1.200 m) e dois grupos de vertentes, Sol (NE, N, NO e O) e Sombra (L, SE, S e SO). Os grupos de vertentes foram definidos considerando a face de exposição das lavouras em relação ao sol. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados, registrando-se os fatores altitude e vertente através do receptor GPSMAP Garmin® 76CSx. A variação da altitude entre os pontos de coleta foi de 932 a 1391 m.

Em cada tipo de ambiente estudado foram coletadas amostras de variedades de frutos vermelhos (Acaiá, Catuaí, Icatu, Mundo Novo, Bourbon Vermelho e Rubi) e variedades de frutos amarelos (Bourbon Amarelo, Catuaí, Catucaí, Icatu e Topázio). Para todas as combinações envolvendo ambiente e cor do fruto, foram coletadas cinco repetições e processadas nas duas formas distintas (via seca e úmida), totalizando 120 amostras por safra.

2.2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o município de Carmo de Minas localizado na Zona Fisiográfica Sul do estado de Minas Gerais, fazendo parte da microrregião 198, conhecida como Planalto Mineiro, pertencente à Bacia do Rio Grande (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2008).

O município possui uma extensão territorial de 32.332 ha e a altitude do ponto central da cidade está estimada em 960 metros (mín. 864 m; máx. 1634 m). A temperatura média anual é de 19,1°C e o índice pluviométrico médio anual é de 1.568 mm (IBGE, 2009). Sua posição é determinada pelas coordenadas geográficas 22°07'21" de latitude sul e 45°07'45" de longitude oeste (IBGE, 2009). Quanto à hidrografia, o município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Verde, a qual pertence à bacia hidrográfica do Rio Grande

(INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2002), tendo como principal curso d'água o Ribeirão do Carmo do Rio Verde (IBGE, 2009).

Martins (2000) classifica o clima da área de estudo de acordo com o sistema de Köppen, como Cwb, subtropical de altitude com temperatura média anual entre 17 e 20°C, apresentando verões muito brandos e úmidos e invernos secos, com um período de estiagem de 5 a 6 meses (abril a setembro).

Machado-Filho et al. (1983) descrevem a ocorrência de Cambissolos Álicos nas áreas mais elevadas, e Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos nas áreas mais baixas no município.

2.3 Tecnologias de colheita e pós-colheita adotadas na obtenção e preparo das amostras

Para avaliar o potencial máximo da qualidade sensorial, a colheita de cada amostra foi realizada manual e seletivamente, coletando-se somente os frutos maduros. Em seguida, os frutos foram separados por diferença de densidade, aproveitando-se somente frutos maduros e densos. Após a separação, uma parte dos frutos selecionados foi conduzida diretamente para a secagem a pleno sol representando o método de processamento via seca, resultando no café natural. Já a outra parte representou o método de processamento via úmida, no qual os frutos foram submetidos ao descascamento e desmucilamento mecânico retirando-se completamente o mesocarpo aderido ao endocarpo, resultando no café em pergaminho. Todos os procedimentos relacionados ao processamento e à secagem foram feitos seguindo as recomendações de boas práticas de pós-colheita do café (BORÉM et al., 2014).

Após a secagem, as amostras foram armazenadas em câmara com temperatura controlada, a 10 °C e umidade relativa de 60%, por um período de 30 dias. Em seguida, as amostras foram beneficiadas separando-se os grãos

quanto à forma e o tamanho. Foram utilizados somente os grãos chatos das peneiras 16 a 18/64 de polegada. Posteriormente, todos os grãos imperfeitos defeituosos foram retirados da amostra. Esse procedimento visou à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas às diferentes combinações do ambiente de cultivo, às variedades analisadas separadamente em função da cor do fruto e aos métodos de processamento.

2.4 Análise sensorial

A torração e análise sensorial das amostras foram realizadas conforme metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais – SCAA (LINGLE, 2011). As amostras foram avaliadas por quatro provadores treinados e qualificados como juízes certificados de cafés especiais. Em cada avaliação foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra e atribuídas notas no intervalo de 0 a 10 pontos para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e impressão global. A nota final representou a soma dos atributos. Cada processamento foi avaliado separadamente.

Para caracterização do perfil sensorial, cada degustador realizou também a descrição qualitativa da bebida. Os descritores sensoriais avaliados foram: tipo de sabor predominante (cítrico, frutado, floral, baunilha ou chocolate); tipo de corpo (cremoso ou oleoso); tipo de acidez (cítrica ou málica); e as intensidades de doçura, acidez e corpo (baixa, média ou alta).

2.5 Análises estatísticas

Para o estudo da dependência dos descritores sensoriais da bebida com o ambiente, cor do fruto e método de processamento, foi aplicada a Análise de Correspondência (AC) utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016).

A AC é uma técnica de análise multivariada para dados categóricos que possibilita, através de uma redução de dimensionalidade, avaliar graficamente as relações existentes entre variáveis e suas categorias (BENZÉCRI, 1992).

Para aplicação da AC, os resultados oriundos da avaliação realizada pelos provadores foram resumidos em um único valor para cada amostra. Assim, para as variáveis numéricas utilizou-se a média aritmética e, após a obtenção das médias, as variáveis foram categorizadas assumindo valores inteiros.

No caso das variáveis não numéricas, foram utilizados critérios específicos. Para as variáveis não numéricas relacionadas ao tipo de sabor (frutado, floral, cítrico, baunilha, chocolate), foram utilizados códigos conforme a descrição dos provadores com base no seguinte critério: presença ou ausência do determinado tipo de sabor. A presença foi considerada quando uma mesma amostra foi descrita com a presença de um determinado tipo de sabor por duas ou mais vezes. Caso contrário, considerou-se a ausência. Para as variáveis não numéricas que caracterizam o tipo de corpo e acidez, utilizou-se a moda. As amostras que não apresentaram uma moda foram classificadas como indefinida para essas variáveis. As variáveis de intensidade dos atributos corpo, acidez e doçura receberam peso 0 para a categoria baixa, 1 para a média e 2 para alta. Calculou-se a média aritmética entre os provadores e classificou-a, conforme o seguinte critério: baixo, quando menor do que 0,75, médio entre 0,75 - 1,5 e alto, acima de 1,5.

Com o objetivo de identificar um “ponto de corte” de delimitação entre as variáveis nota final e altitude foram criadas variáveis binárias assumindo valores inteiros. Para cada valor inteiro da variável nota final foram criadas oito novas variáveis binárias (N80, N81, N82, N83, N84, N85, N86 e N87). Essas variáveis receberam valor 1 quando a nota final era maior que o valor inteiro estipulado e 0 caso contrário. Da mesma forma foram criadas sete novas variáveis binárias para a variável altitude (950 m, 1000 m, 1050 m, 1100 m, 1150 m, 1200 m e 1250 m), em que a variável recebeu 1 quando a altitude observada era maior que a altitude estipulada para a variável binária e 0 caso contrário.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da Análise de Correspondência (AC) buscam descrever um determinado perfil sensorial do café que seja distinto dos demais e que dependa do ambiente, cor do fruto e método de processamento analisados no presente estudo.

Verifica-se que as categorias das variáveis safra e vertente não apresentam agrupamento (Figura 1). As elipses de confiança para as categorias dessas variáveis se sobrepõem, indicando assim que tais categorias não apresentam diferenças significativas entre si ($p < 0,05$). Assim, pode-se afirmar que cafés cultivados na vertente Sol e na vertente Sombra não apresentam diferenças significativas quanto ao perfil sensorial. A mesma afirmação pode ser feita para a safra, que não apresentou efeito significativo na qualidade da bebida do café avaliado na área de estudo.

Existem algumas hipóteses sobre a contribuição da exposição das encostas e dos níveis de radiação solar sobre a qualidade final da bebida do café.

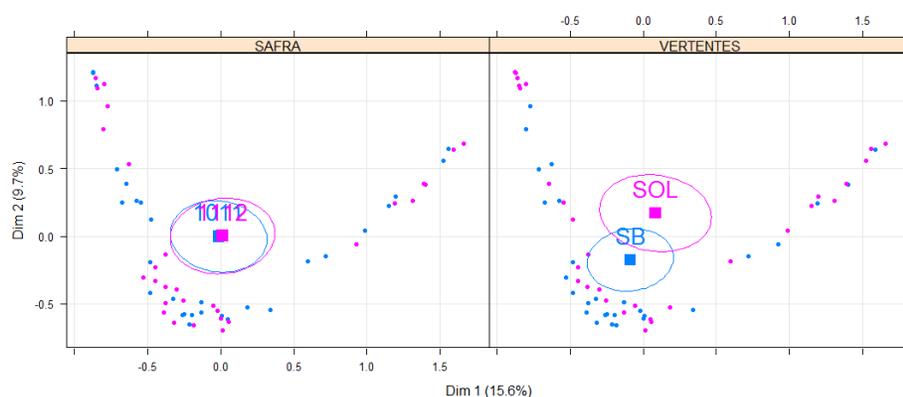


Figura 1 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias das variáveis safra e vertente. Nota: categorias das variáveis: safra – 1011 (safra 2010/11) e 1112 (safra 2011/12); vertente – Sol (grupo de vertente Sol) e SB (grupo de vertente Sombra).

Alguns cafeicultores relatam a partir de observações empíricas que lavouras voltadas predominantemente para o sul produzem cafés de melhor qualidade. São observações pontuais e baseadas em microclimas formados. Contudo, são poucos os trabalhos científicos que avaliam essa influência partindo de características ambientais tão específicas. Estudos sobre os efeitos da altitude e a disposição geográfica de encostas para dois diferentes *terroirs* (Orosi e Santa Maria de Dota) foram conduzidos na Costa Rica (AVELINO et al., 2005). Foi possível constatar diferenças na bebida do café produzido nestas áreas distintas em função principalmente da altitude. No entanto, efeitos mesoclimáticos foram capazes de introduzir nuances nas características sensoriais do café. Nessas condições, a face de exposição leste é descrita como favorável à melhor qualidade da bebida (AVELINO et al., 2005).

Embora as observações práticas sejam pertinentes, no presente estudo não foram observadas contribuições da vertente sobre o perfil sensorial do café de forma consistente e suficientemente capaz de diferenciar as amostras.

Os valores de apreciação dos cafés especiais são semelhantes aos praticados para os vinhos. Mas nem todos os conceitos podem ser aplicados

igualmente para ambos os produtos, como é o caso do efeito da safra. Para os vinhos, a safra é considerada um fator de grande importância nas características finais da bebida, fazendo com que exemplares de uma mesma cultivar e vinícola possam se diferenciar de um ano para o outro (RIZZON; MIELE, 2006). O principal efeito da safra é devido às variações climáticas que ocorrem durante o período de maturação dos frutos, podendo antecipar ou retardar a colheita e influir nas concentrações de açúcar, ácidos orgânicos, teor de compostos voláteis e de compostos fenólicos da uva (CHAMPAGNOL, 1984). É necessário, contudo, ressaltar que o vinho é produzido a partir da fermentação do sumo ou suco de uvas frescas. E que o suco de uva é composto basicamente pelo pericarpo e mesocarpo, partes do fruto sensíveis aos efeitos do clima (CHAMPAGNOL, 1984).

Já no caso do café, o principal produto consumido é o grão, que botanicamente é denominado de semente. As sementes do café alojam-se no interior do fruto permanecendo protegidas do ambiente. Sendo assim, em hipótese, menos sensíveis aos efeitos do clima. Um estudo realizado visando relacionar as principais variáveis climáticas com a composição química do grão de café revelou resultados contraditórios, demonstrando a complexidade de estabelecer relações consistentes entre o clima, constituintes bioquímicos e a qualidade da bebida (JOËT et al., 2010).

No presente trabalho, as características sensoriais utilizadas para avaliar a qualidade do café não resultam na diferenciação das amostras coletadas de um ano para o outro. Do ponto de vista da oferta de produtos de alta qualidade com consistência ao longo dos anos, esses resultados podem ser considerados vantajosos.

Na busca por uma possível nota de corte associada com uma possível altitude de corte, as variáveis altitude e nota final foram categorizadas com seus valores inteiros (Figura 2).

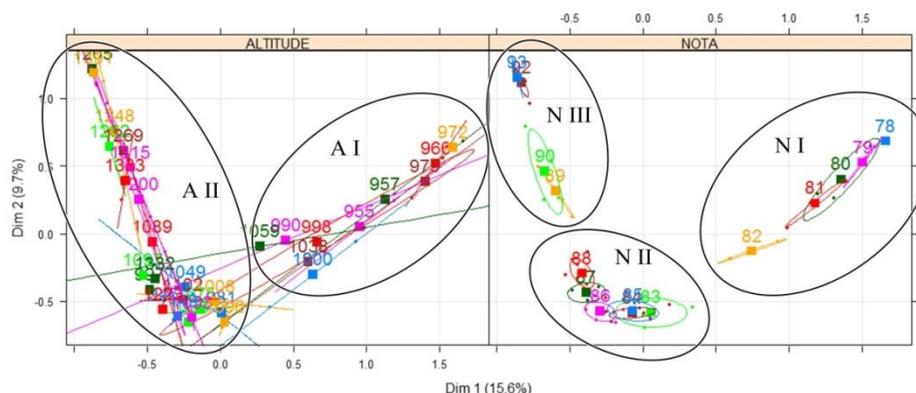


Figura 2 Gráficos da Análise de Correspondência das variáveis altitude e nota final categorizadas com valores inteiros. Nota: em que AI e AII (grupos da variável altitude); NI, NII e NIII (grupos da variável nota final).

Analisando a variável nota final é possível observar a formação de três grupos distintos. As amostras localizadas mais a direita do gráfico apresentam notas iguais ou inferiores a 82 (NI). Notas finais entre 83 e 88 agruparam-se na parte inferior esquerda (NII), enquanto que as notas acima de 88 (NIII) se concentram na parte superior esquerda (Figura 2).

Para a variável altitude, é possível observar um agrupamento semelhante ao observado para a variável nota. O grupo de amostras localizado à direita no gráfico apresenta altitudes inferiores a 1059 m (AI). Já as amostras superiores a 1059 m (AII) agrupam-se mais à esquerda do gráfico (Figura 2). Nessa primeira análise é possível identificar a relação entre altitudes acima de 1059 m e notas superiores a 82, indicando que o melhor ajuste da variável altitude situa-se entre suas variáveis binárias 1050 e 1100 m.

Os efeitos da altitude e do clima associado a ela são de fato consenso entre todos os trabalhos conduzidos em diversos países do mundo com resultados que relatam variações na qualidade. Juntos, esses dois fatores desempenham importante papel por meio da temperatura e da disponibilidade de água e luz afetando a taxa fotossintética durante o período de maturação do

cafeeiro (DECAZY et al., 2003; LAVIOLA et al., 2007). Na Colômbia, pesquisas descrevem a relação entre a altitude (1450 a 1650 m) e a qualidade do café e relatam mudanças positivas na qualidade sensorial do café em altitudes mais elevadas (SERRANO; CASTRILLÓN, 2002). Em Honduras, cafés de qualidade superior também foram obtidos em locais com altitudes elevadas e precipitações anuais abaixo de 1500 mm (DECAZY et al., 2003).

Além do efeito da altitude na redução da temperatura média de um *terroir*, a latitude também possui efeito marcante. Isso pode ser observado em todo o mundo. Os resultados de pesquisas realizadas próximas à linha do equador revelam altitudes superiores a 1600m (SERRANO; CASTRILLÓN, 2002). No entanto, à medida que se afasta da linha do equador, a exigência por altitudes mais elevadas é reduzida. Mas, qual seria esta exigência ou altitude de corte em países ou regiões localizados mais ao sul da linha do equador?

Para demonstrar o efeito da interação entre a altitude e a latitude, amostras de café foram coletadas entre os participantes de concursos de qualidade realizados no estado de Minas, Brasil. As amostras foram espacializadas com base na localização geográfica (latitude e longitude). Os resultados confirmam que as maiores notas sensoriais estão associadas às maiores altitudes. No entanto, quanto maior a latitude, menor a exigência de altitudes elevadas para as melhores notas (BARBOSA et al, 2012).

No presente estudo, os resultados indicam que a altitude é capaz de discriminar amostras com pelo menos três padrões de qualidade. Além disso, é possível inferir que a altitude correspondente a 1059 m foi capaz de separar amostras classificadas como café especial de amostras descritas como abaixo da qualidade *Specialty*, segundo o protocolo da SCAA (LINGLE, 2011). Assim, na tentativa de identificar o perfil sensorial associando altitudes acima de 1059 m com amostras descritas exclusivamente como café especial, foram analisados os descritores tipo de acidez, corpo e sabor (Figuras 3 e 4).

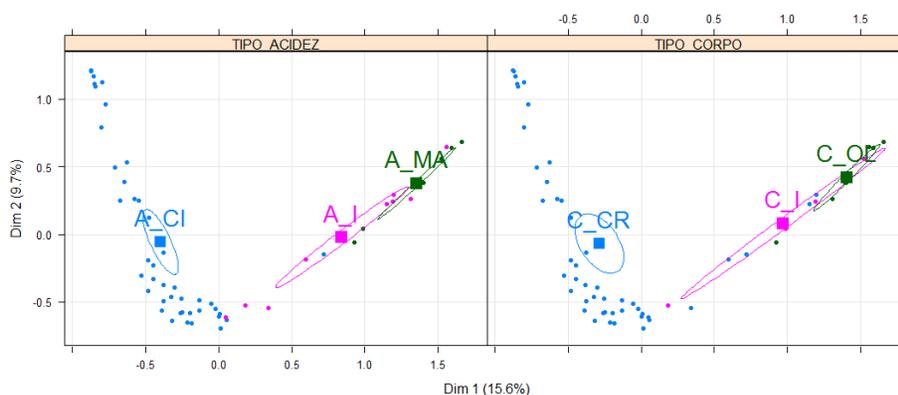


Figura 3 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias das variáveis tipo de acidez e tipo de corpo. Nota: categorias das variáveis: tipo de acidez – acidez tipo cítrica (A_CI), tipo indefinido de acidez (A_I) e acidez tipo málica (A_MA); tipo de corpo – corpo tipo cremoso (C_CR), tipo indefinido de corpo (C_I) e corpo tipo oleoso (O_OL).

Na Figura 3, pontos de cor azul indicam as amostras que apresentam acidez cítrica, pontos na cor verde, acidez málica e pontos na cor rosa, amostras com acidez indefinida. As elipses de confiança para acidez málica e indefinida apresentam-se sobrepostas, indicando que as amostras pertencentes a essas duas categorias não são significativamente diferentes entre si. Já a elipse de confiança do grupo de amostras com acidez cítrica, não se interpõe com nenhuma outra.

A partir dessas observações e da disposição das amostras nos gráficos de correspondência da Figura 2, é possível verificar que os cafés produzidos em altitudes acima de 1059 m apresentam notas superiores a 82 e acidez exclusivamente do tipo cítrica. Da mesma forma é possível identificar o tipo de corpo como exclusivamente cremoso (Figura 3).

Embora os tipos de acidez e corpo sejam fortemente associados com a altitude, ainda não é possível classificar o tipo de sabor para os cafés produzidos em altitudes acima de 1059 m (Figura 4).

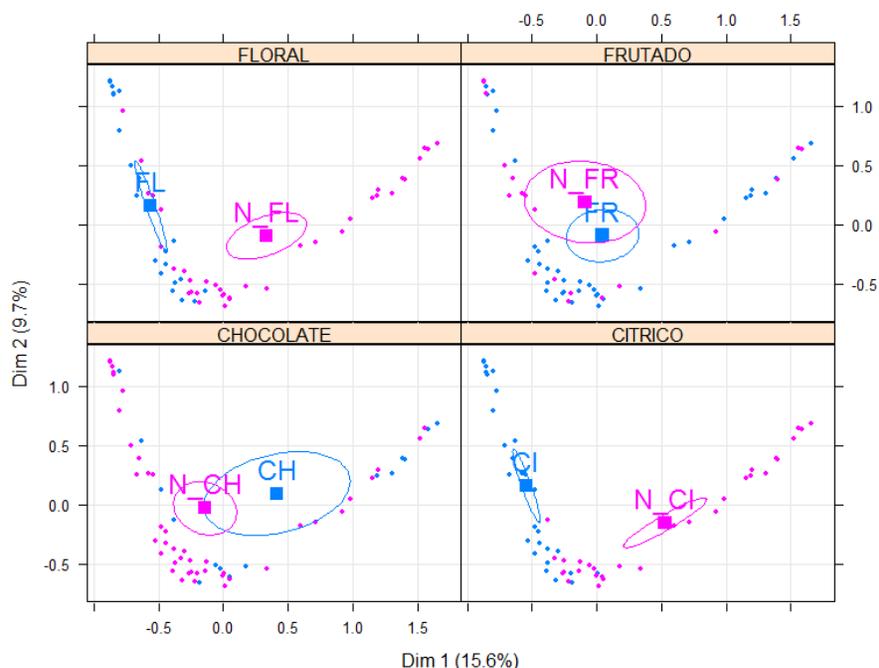


Figura 4 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias da variável tipo de sabor. Nota: categorias da variável tipo sabor – presença do sabor floral (FL) e ausência do sabor floral (N_FL); presença do sabor frutado (FR) e ausência do sabor frutado (N_FR); presença do sabor chocolate (CH) e ausência do sabor chocolate (N_CH); presença do sabor cítrico (CI) e ausência do sabor cítrico (N_CI).

Na Figura 4, observa-se que as amostras de café analisadas não apresentam diferenças significativas entre presença ou ausência do sabor frutado e do sabor chocolate. Para os sabores cítrico e floral, apesar de apresentarem diferenças significativas, o agrupamento formado pelas amostras quanto às categorias dessas variáveis se distribui no gráfico diferentemente do agrupamento formado pelas variáveis altitude e nota final. Isto porque amostras produzidas acima de 1059 m podem ou não apresentar o sabor floral. O mesmo ocorre com a presença ou ausência do sabor cítrico. Assim, com base nessas características não é possível definir um perfil sensorial distinto, capaz de estabelecer uma relação clara com o ambiente no qual ocorre. Embora esses

resultados indiquem que perfis sensoriais distintos correspondem com as maiores altitudes da área de estudo.

A partir dessas informações, buscou-se encontrar o melhor ajuste para caracterizar o perfil sensorial do café por meio de diferentes combinações envolvendo as categorias das variáveis binárias criadas a partir das variáveis altitude e nota final. Porém, baseado na variabilidade no perfil sensorial do café reconhecidamente existente em função do genótipo e método de processamento (KITILA et al., 2011; PUERTA-QUINTERO, 1999; TESSEMA et al., 2011; VINCENT, 1987), o ajuste foi realizado separadamente para cada tipo de cor do fruto e tipo de processamento.

3.1 Variedades de fruto amarelo processado por via úmida

O melhor ajuste para o grupo de variedades de fruto amarelo processado por via úmida foi encontrado para a variável binária da altitude correspondente a 1100 m e para a variável binária da nota final correspondente a 85 (Figura 5).

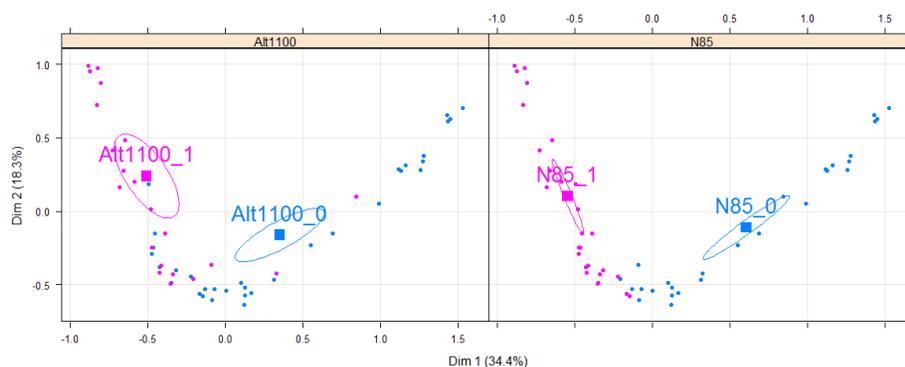


Figura 5 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias das variáveis binárias de altitude e nota final das amostras de variedades de fruto amarelo processado por via úmida. Nota: categorias das variáveis binárias: altitude (Alt 1100) – acima de 1100 m (Alt 1100_1) e abaixo de 1100 m (Alt 1100_0); nota final (N85) – acima de 85 (N85_1) e abaixo de 85 (N85_0).

Neste estudo, os resultados indicam que as variedades de fruto amarelo cultivadas em altitudes acima de 1100 m e processadas por via úmida apresentam predominantemente notas finais acima de 85. Por outro lado, a maioria das amostras coletadas abaixo de 1100 m apresentam notas abaixo de 85.

A descrição resumida dos tipos de acidez, corpo e sabor e das intensidades de doçura, acidez e corpo das amostras de variedades de fruto amarelo processado via úmida são apresentadas no Apêndice A. O perfil sensorial dessas amostras é descrito predominantemente como bebida de acidez cítrica, corpo cremoso, sabor floral e cítrico, com intensidades de acidez e corpo média-alta e intensidade de doçura alta.

3.2 Variedades de fruto amarelo processado por via seca

O melhor ajuste para o grupo de variedades de fruto amarelo processado por via seca foi encontrado também para a variável binária da altitude correspondente a 1100 m. No entanto, o melhor ajuste para a variável binária da nota final correspondeu a 86 (Figura 6).

Os resultados revelam que as variedades de fruto amarelo cultivadas em altitudes acima de 1100 m e processadas por via seca apresentam predominantemente notas finais acima de 86. A bebida das amostras coletadas nessa altitude e submetidas a esse método de processamento apresenta acidez cítrica, corpo cremoso, sabor frutado e cítrico e intensidades de acidez, corpo e doçura alta (APÊNDICE B).

Ao comparar o perfil sensorial das amostras de variedades de fruto amarelo processadas por via úmida com as amostras processadas por via seca, notam-se algumas diferenças. A principal delas é encontrada no tipo de sabor. No processamento via úmida, a retirada do exocarpo e mesocarpo

mecanicamente determinou a percepção do sabor floral, enquanto o processamento via seca foi responsável pela presença do sabor frutado na bebida das amostras de fruto amarelo.

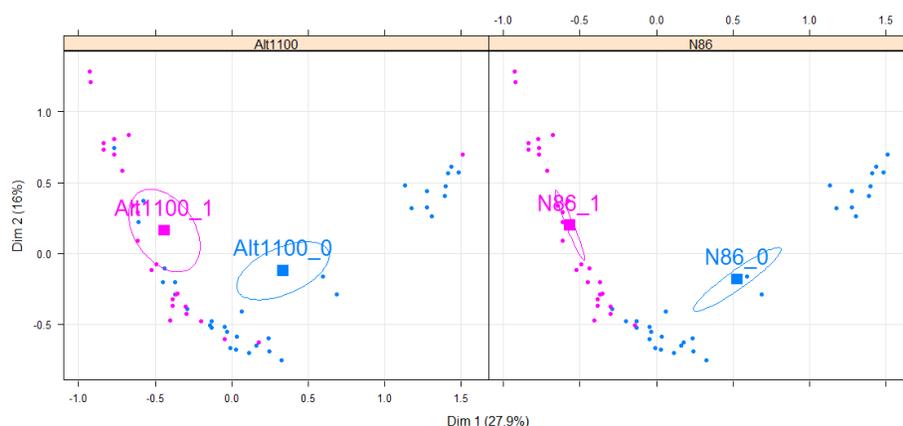


Figura 6 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias das variáveis binárias de altitude e nota final de amostras de variedades de fruto amarelo processado por via seca. Nota: categorias das variáveis binárias: altitude (Alt 1100) – acima de 1100 m (Alt 1100_1) e abaixo de 1100 m (Alt 1100_0); nota final (N86) – acima de 86 (N86_1) e abaixo de 86 (N86_0).

No mundo, além do efeito da presença do exocarpo na qualidade final do café, várias questões são levantadas a respeito do efeito da presença do mesocarpo ou mucilagem durante a secagem e do método usado para sua remoção. Estudos conduzidos na Colômbia, não encontraram diferenças na qualidade do café em pergaminho, independentemente do tipo de remoção da mucilagem, ou seja, se por fermentação natural ou desmucilado mecanicamente (PUERTA-QUINTERO, 1999). A presença do mesocarpo tem sido usada também para explicar variações no perfil sensorial da bebida do café, como maior ou menor doçura (VINCENT, 1987). Ainda hoje, existem hipóteses de que variações na doçura do café são ligadas à quantidade de compostos que se movimentam do mesocarpo para a semente durante a secagem. Entretanto, não

existem evidências científicas suficientes para comprovar a ocorrência desse fenômeno. Neste estudo, as amostras das variedades de fruto amarelo processadas via seca não apresentaram diferenças no descritor sensorial intensidade de doçura da bebida comparativamente ao método via úmida.

Os métodos de processamento adotados nesta investigação promoveram diferenças entre as amostras do ponto de vista da retirada ou não do exocarpo e mesocarpo do fruto antes do início da secagem. Esta ação resultou na distinção clara do perfil sensorial das amostras de variedades de fruto amarelo somente quanto ao descritor tipo de sabor. Do ponto de vista químico e fisiológico, os efeitos do processamento sobre o grão do café são notoriamente reconhecidos (JOËT et al., 2010; TAVEIRA, 2014; VÁZQUEZ-RAMOS; SANCHEZ, 2003; ZHANG et al., 1993). No entanto, as mudanças qualitativas ou quantitativas na composição de metabólitos presentes no grão cru responsáveis pela diferenciação do sabor em níveis tão específicos ainda são desconhecidas. Assim, os resultados constatados neste estudo indicam a necessidade de mais investigações através de novas técnicas para ampliar a descoberta de metabólitos capazes de originar diferentes sabores na bebida do café.

3.3 Variedades de fruto vermelho processado por via úmida

O melhor ajuste para o grupo de variedades de fruto vermelho processado por via úmida foi encontrado para a variável binária da altitude correspondente a 1100 m e para a variável binária da nota final correspondente a 86 (Figura 7).

Os resultados indicam que as variedades de fruto vermelho cultivadas em altitudes acima de 1100 m apresentam predominantemente notas finais acima de 86 quando adotado o processamento dos frutos por via úmida.

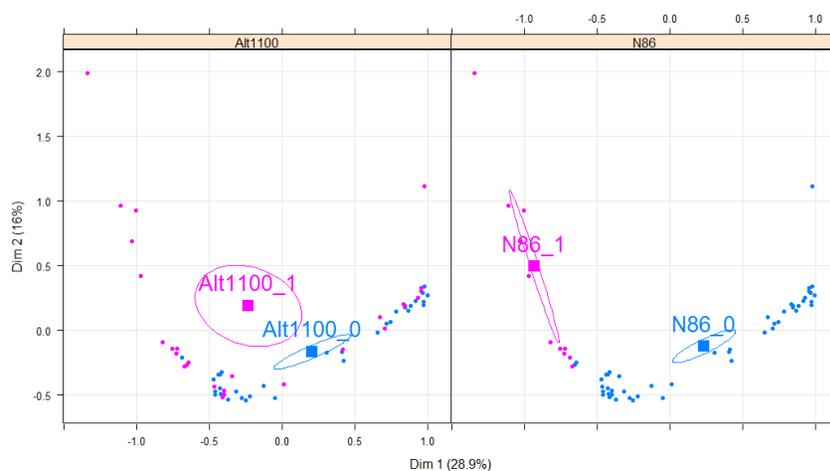


Figura 7 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias das variáveis binárias de altitude e nota final de amostras de variedades de fruto vermelho processado por via úmida. Nota: categorias das variáveis binárias: altitude (Alt 1100) – acima de 1100 m (Alt 1100_1) e abaixo de 1100 m (Alt 1100_0); nota final (N86) – acima de 86 (N86_1) e abaixo de 86 (N86_0).

A descrição resumida dos tipos de acidez, corpo e sabor e das intensidades de doçura, acidez e corpo das amostras de variedades de fruto vermelho processado via úmida são apresentadas no Apêndice C. O perfil sensorial dessas amostras é descrito predominantemente como bebida de acidez cítrica, corpo cremoso, sabor floral e cítrico, com intensidades de acidez e corpo média-alta e intensidade de doçura alta (APÊNDICE C).

3.4 Variedades de fruto vermelho processado por via seca

Para amostras representativas do grupo de variedades de fruto vermelho processadas por via seca não foi possível encontrar um perfil sensorial com correspondência significativa com a altitude (Figura 8).

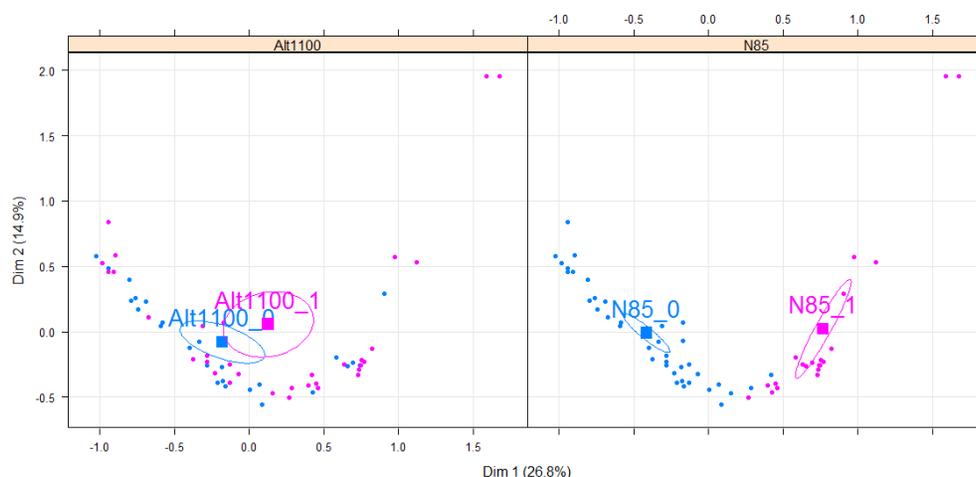


Figura 8 Gráficos da Análise de Correspondência das categorias das variáveis binárias de altitude e nota final de amostras de variedades de fruto vermelho processado por via seca. Nota: categorias das variáveis binárias: altitude (Alt 1100) – acima de 1100 m (Alt 1100_1) e abaixo de 1100 m (Alt 1100_0); nota final (N85) – acima de 85 (N85_1) e abaixo de 85 (N85_0).

As elipses de confiança para as categorias da variável binária da altitude sobrepõem-se considerando o valor correspondente de 1100 m, bem como para as demais categorias binárias testadas (950m, 1000m, 1050m, 1150m, 1200m e 1250m). Assim, variedades de fruto vermelho cultivadas em diferentes altitudes não apresentam perfis sensoriais distintos quando adotado o método de processamento via seca.

De modo geral, para as amostras de variedades de fruto vermelho, o método de processamento adotado permitiu ou não associar o perfil sensorial com o ambiente de cultivo. Ou seja, com a origem geográfica das amostras. Esta observação não ocorreu para variedades de fruto amarelo.

Os resultados abrem a discussão para dois pontos. O primeiro, para a hipótese de que as variedades de fruto vermelho analisadas respondem aos estímulos do ambiente de maneira indefinida, originando um perfil variável de compostos químicos no grão considerados precursores do sabor e aroma. Essa

variabilidade, seja ela qualitativa ou quantitativa, pode reduzir os impactos do processamento sobre a matriz química do grão cru. Principalmente, em métodos de processamento que não removem as estruturas do fruto até a finalização da secagem dos grãos, como o processamento por via seca.

O segundo ponto relevante trata-se do forte efeito do método de processamento por via úmida sobre a definição do perfil sensorial das amostras representativas dos dois grupos de variedades analisadas. Do ponto de vista fisiológico, a remoção das partes constituintes do fruto favorece o processo de germinação do embrião (BYTOF et al., 2005). Acredita-se que a germinação ocorre diferencialmente nas sementes em razão da remoção de inibidores presentes no exocarpo e mesocarpo (BYTOF et al., 2005). Dessa maneira, o despulpamento do café permitiria o desencadeamento das diversas reações relacionadas à germinação, como a mobilização de reservas, resultando em diferentes perfis metabólicos comparativamente ao café natural (BYTOF et al., 2005; RIBEIRO et al., 2016; TAVEIRA, 2014).

Assim, os resultados encontrados na presente investigação permitem inferir que o uso de tecnologias para remoção do exocarpo e mesocarpo do fruto de café define um perfil de compostos químicos no grão cru considerados precursores da qualidade da bebida.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados encontrados na área estudada ao longo das safras 2010 e 2011, foi possível concluir que:

A qualidade do café se diferencia com perfis sensoriais únicos em ambientes de cultivo correspondentes a altitudes acima de 1100 m.

Cafés naturais de variedades de fruto vermelho não apresentam diferenciação no perfil sensorial com correspondência à altitude do ambiente de cultivo.

A qualidade do café não é discriminada a partir da sua correspondência com a vertente do ambiente de cultivo.

Os descritores sensoriais, sabor, acidez, corpo e doçura correspondem ao ambiente de cultivo e variam em função do método de processamento e cor do fruto.

A bebida de variedades de fruto amarelo correspondentes ao ambiente de cultivo e processadas por via úmida apresenta os seguintes descritores sensoriais: nota final acima de 85, com acidez cítrica, corpo cremoso, sabor floral e cítrico, com intensidade média-alta para os atributos acidez e corpo e intensidade alta para o atributo doçura.

A bebida de variedades de fruto amarelo correspondentes ao ambiente de cultivo e processadas por via seca apresenta os seguintes descritores sensoriais: nota final acima de 86, com acidez cítrica, corpo cremoso, sabor frutado e cítrico e intensidade alta para os atributos acidez, corpo e doçura;

A bebida de variedades de fruto vermelho correspondentes ao ambiente de cultivo e processadas por via úmida apresenta os seguintes descritores sensoriais: nota final acima de 86, com acidez cítrica, corpo cremoso, sabor floral e cítrico, intensidade média-alta para os atributos acidez e corpo e intensidade alta para o atributo doçura.

REFERÊNCIAS

ALVES, H. M. R. et al. Características ambientais e qualidade da bebidas dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 18-29, mar/abr. 2011.

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**, London, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, May 2005.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of agricultural science**, Toronto, v. 4, n. 5, p. 181-190, Apr. 2012.

BENZÉCRI, J. P. **Correspondence analysis handbook**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1992.

BERTRAND, B. et al. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, Oxford, v. 26, n. 9, p. 1239-1248, Sept. 2006.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; TAVEIRA, J. H. S. Coffee Processing. In: BORÉM, F. M. (Org.). **Handbook of coffee post-harvest technology**. Norcross, Georgia: Gin Press, 2014. v. 1, p. 49-68.

BYTOF, G. et al. Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, Heidelberg, v. 220, n. 3, p. 245-250, Nov. 2005.

BYTOF, G. et al. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.

CHAMPAGNOL, F. **Éléments de Physiologie de la Vigne et de Viticulture Générale**. Montpellier, France: Déhan. 1984. 351 p.

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, Sept. 2003.

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

GUYOT, B. et al. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. **Plantation Recherche, Développement**, Versalhes, v. 3, n. 4, p. 272-280, juin/aout. 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão territorial do Brasil**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/Organizacao/Divisao_Territorial/2008/DTB_2008.zip>. Acesso em: 15 nov. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<ftp://geofp.ibge.gov.br/MME2007/MG/CARMO%20DE%20MINAS.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório monitoramento das águas superficiais na Bacia do Rio Grande em 2002**. Belo Horizonte, 2002. 124 p.

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, Feb. 2010.

KITILA, O. et al. Variability of quantitative traits in limmu coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia. **International Journal of Agricultural Research**, Dubai, v. 6, n. 6, p. 482-493, 2011.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **Food Research Technology**, Mysore, v. 223, p. 195-201, Dec. 2006.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, nov./dez. 2007.

LINGLE, T. R. **The coffee copper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. 4. ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MACHADO-FILHO, L. et al. **Geologia**. Rio de Janeiro: MEE/SG, 1983. 66 p.

MARTINS, C. S. Caracterização física e fitogeográfica de Minas Gerais. In: MENDONÇA, M. P.; LINS, L. V. (Ed.). **Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2000. p. 35-43.

PUERTA-QUINTERO, G. I. P. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. **Cenicafé**, Caldas, v. 50, n. 1, p. 78-88, jan./mar. 1999.

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: 10 jun. 2016.

RIBEIRO, D. E. et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 11, n. 27, p. 2412-2422, July 2016.

RIZZON, Luiz Antenor; MIELE, Alberto. Efeito da safra vitícola na composição da uva, do mosto e do vinho Isabel da Serra Gaúcha, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, 2006.

SELMAR, D. et al. Germination of coffee seeds and its significance for coffee quality. **Plant Biology**, New York, v. 8, n. 02, p. 260-264, Fev. 2006.

SERRANO, C.E.B.; CASTRILLÓN, J.J.C. Influência de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café procedente del ecotopo 206 B en Colombia. **Cenicafé**, Manizales, v.53, n.2, p.119-131, abr./jun. 2002.

TAVEIRA, J. H. S. **Metabolite profile and sensory quality of arabica genotypes grown in different altitudes and processed by different post-harvest methods**. 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

TESSEMA, A. et al. Variability and association of quality and biochemical attributes in some promising Coffea arabica germplasm collections in southwestern Ethiopia. **International Journal of Plant Breeding and Genetics**, Rawalpindi, v. 5, n. 4, p. 302-316, Apr. 2011.

VÁZQUEZ-RAMOS, Jorge M.; DE LA PAZ SÁNCHEZ, María. The cell cycle and seed germination. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 13, n. 02, p. 113-130, June 2003.

VINCENT, J. C. Green coffee processing. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.) **Technology**. New York: Elsevier, 1987. p. 1-33.

ZHANG, J. Z. et al. Two classes of isocitrate lyase genes are expressed during late embryogeny and postgermination in *Brassica napus* L. **Molecular and General Genetics**, New York, v. 238, n. 1-2, p. 177-184, Apr. 1993.

ARTIGO 2

PERFIL DE ÁCIDOS ORGÂNICOS E BIOATIVOS NA DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ PROVENIENTE DE DIFERENTES GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido para investigar o potencial dos ácidos orgânicos e bioativos presentes no grão cru para discriminar a qualidade sensorial do café proveniente de diferentes genótipos e métodos de processamento. Durante as safras 2010, 2011 e 2012, foram analisadas a qualidade da bebida do café e o perfil de ácidos orgânicos e dos bioativos, cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (3,4 e 5-CQA) do grão cru de amostras representativas dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá. As amostras foram coletadas em lavouras comerciais com altitudes variando entre 932 a 1391 m, no município de Carmo de Minas, MG, Brasil. Os métodos de processamento adotados foram: via seca (café natural) e via úmida com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto. Todos os procedimentos de colheita e pós-colheita foram realizados conforme as principais tecnologias para produção de cafés especiais. A análise sensorial foi realizada utilizando-se a metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). As análises químicas foram realizadas por HPLC. Os dados foram investigados aplicando-se a Análise de Componentes Principais (ACP). As variações nos teores de ácidos orgânicos e dos bioativos analisados ocorreram em razão do método de processamento do café. Para os genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá, as diferenças existentes no perfil de ácidos orgânicos associado com os bioativos, cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (3,4 e 5-CQA) foram determinantes para discriminar a qualidade do café descascado e desmucilado mecanicamente.

Palavras-chave: Bourbon Amarelo. *Coffea arabica* L. Análise sensorial. Desmucilamento mecânico. Cafés naturais.

1 INTRODUÇÃO

Embora o mercado de café comum represente a maior parte de todo café transacionado mundialmente, o segmento de cafés especiais tem se destacado no mercado internacional (BSCA, 2017). Seus sabores exóticos e raros faz do café especial um produto cada vez mais valorizado, o que justifica incentivos para pesquisas e inovações tecnológicas na busca pela produção com qualidade. Cada vez mais, países produtores de café mostram interesse na compreensão dos fatores que influenciam a qualidade da bebida (AVELINO et al., 2005). O Brasil é tradicionalmente conhecido como fornecedor de grandes quantidades de cafés comuns e de baixo preço. No entanto, a sua participação no mercado de cafés especiais tem grande potencial de aumento em razão da variação ambiental e também do nível tecnológico adotado em sua cafeicultura (GIOMO; BORÉM, 2011).

A qualidade da bebida é a principal característica que diferencia cafés especiais de cafés comuns. Sua complexidade é determinada principalmente pelo sabor e aroma formados durante a torração a partir de compostos químicos presentes no grão cru, reconhecidos como precursores da qualidade (ALPIZAR et al., 2004; FARAH et al., 2005; RIBEIRO et al., 2016). Ainda que a matriz química do grão cru apresente em sua constituição alta complexidade em razão do grande número de compostos, ácidos orgânicos e bioativos têm sido reconhecidos na literatura como potenciais descritores da qualidade sensorial do café (BORÉM et al., 2016; FARAH et al., 2005).

Os ácidos orgânicos possuem importantes propriedades organolépticas que interferem em algumas características sensoriais do café. Como a maior parte dos ácidos orgânicos é formada por compostos voláteis, os atributos da bebida mais influenciados são o sabor e a fragrância. Tem sido demonstrado que maiores concentrações de ácidos impactam significativamente na percepção de

sabores básicos, particularmente o doce (GALLI; BARBAS, 2004). Além disso, outra importante característica da bebida afetada pelos ácidos orgânicos é a acidez (LINGLE, 2011). Em geral, os ácidos presentes no café são responsáveis por cerca de 11% do peso do grão cru e por cerca de 6% do peso do grão torrado. Os principais ácidos presentes nos grãos crus de café são o cítrico, o málico, os clorogênicos e o quínico (GINZ et al., 2000).

Outro grupo de compostos de grande importância na definição da qualidade sensorial do café são os bioativos trigonelina, cafeína e ácidos clorogênicos. A trigonelina e os ácidos clorogênicos são reconhecidos como precursores de outros compostos voláteis que contribuem diretamente para o sabor e o aroma do café torrado (RIBEIRO et al., 2016). Já a cafeína está associada com o amargor indesejável que, dependendo da sua concentração, pode depreciar a bebida (BORÉM et al., 2016).

No Brasil e no mundo, vários trabalhos foram realizados com o objetivo de compreender a relação dos níveis de alguns compostos químicos com a discriminação de espécies e ambientes de cultivo, a avaliação do grau de torração, as propriedades funcionais e também a expressão da qualidade do café (AVELINO et al., 2005; BERTRAND et al., 2008; BICCHI et al., 1995; MAZZAFERA; CARVALHO, 1991). No entanto, ainda restam incertezas sobre a discriminação da qualidade sensorial do café com o conceito ligado ao prazer que a bebida pode oferecer a partir do perfil de precursores químicos presentes no grão cru.

Sendo assim, buscou-se no presente estudo caracterizar o perfil de ácidos orgânicos em conjunto com bioativos presentes no grão cru e investigar o potencial desses compostos na discriminação da qualidade sensorial de cafés provenientes de diferentes genótipos e métodos de processamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização das amostras

As amostras de café (*Coffea arabica* L.) analisadas foram coletadas em lavouras comerciais de propriedades localizadas no município de Carmo de Minas (-22°6', -45°8'), Minas Gerais, Brasil, nas safras 2010, 2011 e 2012.

Ao longo das três safras foram coletadas amostras representativas do genótipo Bourbon Amarelo e do genótipo Acaiá em ambientes com altitudes variando entre 932 a 1391 m. Cada amostra coletada foi subdividida e processada em duas formas distintas: via seca (café natural) e via úmida com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto. Baseando-se nas combinações envolvendo os dois genótipos e os dois métodos de processamento estudados, foram gerados e analisados separadamente quatro grupos distintos, cada qual composto pelo total de 27 amostras (Tabela 1).

Tabela 1 Quantidade de amostras obtidas ao longo das safras para cada grupo envolvendo a combinação entre genótipo e método de processamento.

Genótipo	Processamento	Total de amostras
Bourbon amarelo	Via úmida	27
	Via seca	27
Acaiá	Via úmida	27
	Via seca	27

2.2 Tecnologias de colheita e pós-colheita adotadas na obtenção e preparo das amostras

Para avaliar o potencial máximo da qualidade sensorial, a colheita de cada amostra foi realizada manual e seletivamente, coletando-se somente os

frutos maduros. Em seguida, os frutos foram imersos em água e separados por diferença de densidade, aproveitando-se somente frutos maduros e densos. Após a separação hidráulica, uma parte dos frutos selecionados foi conduzida diretamente para a secagem a pleno sol representando o método de processamento via seca, resultando no café natural. Já a outra parte representou o método de processamento via úmida, no qual os frutos foram submetidos ao descascamento e desmucilamento mecânico retirando-se completamente o mesocarpo aderido ao endocarpo, resultando o café em pergaminho. Todos os procedimentos relacionados ao processamento e à secagem foram feitos seguindo as recomendações de boas práticas de pós-colheita do café (BORÉM et al., 2014).

Após a secagem, as amostras foram armazenadas em câmara com temperatura controlada, a 10 °C e umidade relativa de 60%, por um período de 30 dias. Em seguida, as amostras foram beneficiadas separando-se os grãos quanto à forma e o tamanho. Foram selecionados somente os grãos chatos das peneiras 16 a 18/64 de polegada. Posteriormente, todos os grãos imperfeitos defeituosos foram retirados da amostra. Esse procedimento visou à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas às variedades analisadas e aos métodos de processamento. Por fim, cada amostra preparada foi submetida às análises sensoriais e químicas.

2.3 Análise sensorial

A torração e análise sensorial das amostras foram realizadas conforme metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais – SCAA (LINGLE, 2011). As amostras foram avaliadas por quatro provadores treinados e qualificados como juízes certificados de cafés especiais. Em cada avaliação foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra e

atribuídas notas no intervalo de 0 a 10 pontos para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e impressão global. A nota final representou a soma dos atributos. Cada processamento foi avaliado separadamente.

2.4 Análises químicas

Para a realização das análises químicas, os grãos crus de café foram moídos por cerca de 1 minuto em moinho 11A basic (IKA, Brasil), adicionando-se nitrogênio líquido para facilitar a moagem e evitar oxidações nas amostras. Após a moagem, as amostras foram acondicionadas em tubos falcon e armazenadas em *deepfreezer*, à temperatura de -80 °C, até a realização das análises.

2.4.1 Ácidos Orgânicos

Para a extração dos ácidos orgânicos, foram pesados 250 mg de café cru moído e colocados em micro tubo tipo eppendorf de 1,5 ml juntamente com 1 ml de água deionizada (resistividade 18,2 MQ). A solução foi agitada durante 10 minutos. Posteriormente, a solução foi diluída para 10 ml e uma alíquota filtrada de 20 µl foi tomada para análise por meio de cromatografia líquida de alta eficiência com base na metodologia descrita por Jham et al. (2002).

Soluções padrões dos ácidos de interesse foram empregadas para a identificação dos picos dos cromatogramas comparando-se os tempos de retenção e para o cálculo das suas concentrações nas amostras. Os teores finais dos ácidos orgânicos foram dados em porcentagem de matéria seca (% m.s).

Foram quantificados os seguintes ácidos orgânicos: cítrico, tartárico, málico, quínico, succínico, láctico e acético.

2.4.2 Bioativos

Os bioativos analisados foram cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA). Para a extração dos compostos, 100 mg de café cru moído foram colocados em tubo de ensaio de 2x12 cm, com tampa de rosca e misturados com 5 ml de metanol para HPLC a 70%, preparado em água ultrapura 18,2 MΩ. Os tubos foram tampados à meia rosca e colocados em banho de água, a 60 °C, durante 1 hora, com agitação a cada 10 minutos.

Após centrifugação por 10 minutos, a 12.000 rpm, em tubo eppendorf de 1,5 ml, a solução sobrenadante foi diluída a 1:10, com água ultrapura. Após filtração em membrana de 0,20 μm, 20 μl das amostras foram injetados no cromatógrafo Shimadzu.

As concentrações dos compostos foram determinadas simultaneamente, utilizando-se HPLC. O sistema consistiu de duas bombas LC-20AT e detector UV-Vis SPD-20A (Shimadzu, Kyoto, Japão). As amostras e as soluções padrões foram analisadas em uma coluna Nucleodur 100-5C18, 250 mm x 3,0 mm, 5 μl (Macharey-Nagel). As análises foram feitas por eluição isocrática de metanol para CLAE/10 mM de ácido cítrico pH 2,5 (25:75), em temperatura ambiente e fluxo de 0,7 mL.min⁻¹.

Para o processamento dos dados, foi utilizado o software Labsolutions (Shimadzu). Os resultados foram definidos pela relação entre as áreas dos picos de cafeína, trigonelina e 5-CQA com a dos respectivos padrões de concentrações conhecidas. A quantificação dos demais isômeros, 3-CQA e 4-CQA, foi realizada utilizando-se a área de 5-CQA padrão, combinada com coeficientes de extinção molar, conforme metodologia adaptada de Farah et al. (2005). Os teores

finais de cafeína, trigonelina, 3-CQA, 4-CQA e 5-CQA foram dados em porcentagem de matéria seca (% m.s).

2.5 Análise estatística

A relação do perfil de ácidos orgânicos em conjunto com bioativos determinados no grão cru com a qualidade da bebida foi investigada através da Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando o software estatístico Chemoface (NUNES et al., 2012). As variáveis químicas consideradas foram os teores finais dos compostos determinados. A variável sensorial considerada foi nota final resumida em um único valor a partir da média aritmética entre os provadores. Todos os dados foram centrados na média.

A investigação foi feita separadamente em quatro grupos de amostras formados a partir da combinação dos genótipos (Acaiá e Bourbon Amarelo) e dos métodos de processamento avaliados (via seca e via úmida). Para cada grupo, foram criadas duas categorias de nota final visando a melhor compreensão da discriminação das amostras de acordo com a composição de ácidos orgânicos e bioativos (Tabela 2). As categorias de nota final foram geradas com base em resultados que constataram a correspondência da qualidade com fatores ambientais, genótipos e métodos de processamento (BORÉM et al., 2017 – dados não publicados – artigo 1).

Tabela 2 Categorias de nota final para cada grupo de amostra.

Genótipo	Processamento	Categoria de nota final	
Bourbon Amarelo	Via úmida	<85	≥85
	Via seca	<86	≥86
Acaiá	Via úmida	<86	≥86
	Via seca	<86	≥86

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os teores médios do perfil de ácidos orgânicos e de bioativos para amostras dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá processadas por via úmida e via seca.

Tabela 3 Teores médios (% m.s) do perfil de ácidos orgânicos e bioativos para cada grupo de amostras.

Composto	Bourbon Amarelo		Acaiá		
	Via úmida	Via seca	Via úmida	Via seca	
Ácidos orgânicos	Cítrico	1,15	1,16	1,27	1,21
	Tartárico	0,00	0,01	0,00	0,01
	Málico	0,52	0,52	0,58	0,56
	Quínico	0,27	0,25	0,31	0,30
	Succínico	0,17	0,17	0,18	0,19
	Lático	0,04	0,06	0,06	0,05
	Acético	0,05	0,06	0,05	0,06
Bioativos	3-CQA	0,67	0,55	0,65	0,57
	4-CQA	0,86	0,80	0,88	0,74
	5-CQA	7,39	6,34	6,99	6,10
	Cafeína	1,47	1,31	1,47	1,41
	Trigonelina	1,14	1,08	1,08	1,02

O ácido orgânico encontrado em maior concentração nos grãos crus de café foi o cítrico. Os ácidos málico, quínico e succínico foram encontrados em quantidades inferiores a 0,6%. Já os ácidos lático e acético foram encontrados em quantidades inferiores a 0,1%. Embora encontrado com teores médios muito

baixos (0,01%), o ácido tartárico foi identificado somente em amostras processadas via seca.

Em relação aos bioativos, o isômero 5-CQA foi encontrado em maior quantidade em comparação com os demais ácidos clorogênicos identificados. Já a trigonelina e a cafeína apresentaram os teores médios acima de 1% (Tabela 3).

A composição de ácidos orgânicos e dos bioativos trigonelina, cafeína e ácidos clorogênicos (3,4 e 5-CQA) encontrados no presente estudo estão de acordo com valores apresentados em trabalhos anteriores que quantificaram esses compostos (KY et al., 2001; ROGERS et al., 1999).

A seguir serão apresentados os resultados da investigação do perfil de ácidos orgânicos e bioativos com a qualidade sensorial do café para cada grupo de amostras.

3.1 Amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo

Na Figura 1 são apresentados os scores dos dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo. Para este grupo, foram classificadas dez amostras com nota final abaixo de 85 e dezessete com notas iguais ou acima de 85.

Embora a primeira componente explique quase a totalidade da variabilidade entre os dados, a discriminação das amostras não ocorreu exclusivamente em função dessa componente. Em alguns casos, fenômenos de natureza multivariada necessitam de uma terceira componente para explicar as diferenças entre os dados. Assim, no presente estudo, as investigações foram realizadas considerando as três primeiras componentes principais que, somadas, explicaram 99,13% da variabilidade entre as amostras deste grupo (Figura 1).

É possível observar a formação de dois grupos distintos em função das categorias de notas consideradas. Esses resultados revelam que amostras

classificadas com notas iguais ou acima de 85 apresentam diferenças no perfil de ácidos orgânicos e bioativos em relação às amostras classificadas com notas abaixo de 85 (Figura 1).

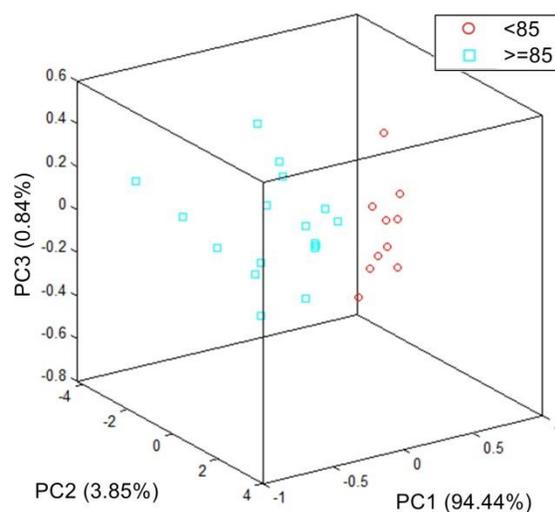


Figura 1 Scores dos três componentes principais para dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 85 (<85); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 85 (>=85).

Na tabela 4 são apresentados os pesos dos ácidos orgânicos e bioativos nas três primeiras componentes principais de amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo.

Dentre os compostos analisados, os teores de ácido cítrico e trigonelina foram os que apresentaram os maiores pesos, com valores superiores a 0,60 para as três componentes principais.

Os demais ácidos orgânicos, málico, quínico, succínico e acético apresentaram contribuições mais relevantes para a terceira componente principal. Já o ácido láctico apresentou contribuições menos relevantes para as

três componentes analisadas (Tabela 4). Esses resultados permitem inferir que a explicação do fenômeno não ocorre somente a partir do ácido cítrico. Embora apresentem menores pesos, os ácidos málico, quínico, succínico e acético contribuíram para a melhoria da espacialização dos dados permitindo a discriminação entre as amostras.

Tabela 4 Pesos dos ácidos orgânicos e bioativos nas três primeiras componentes principais de amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo.

Parâmetro		PC1	PC2	PC3
		(94,44%)	(3,85%)	(0,84%)
Ácidos orgânicos	Cítrico	-0,801	0,639	0,699
	Málico	-0,022	-0,105	0,241
	Quínico	-0,006	-0,150	0,263
	Succínico	-0,002	0,083	0,162
	Lático	0,001	-0,023	0,014
	Acético	0,014	0,139	0,220
Bioativos	3-CQA	-0,160	-0,184	-0,112
	4-CQA	0,045	-0,054	-0,019
	5-CQA	0,594	0,485	-0,207
	Cafeína	-0,051	-0,752	-0,528
	Trigonelina	-0,626	-0,605	0,760

Em relação aos demais bioativos, todos apresentaram contribuições importantes entre as componentes principais, sobretudo os compostos 5-CQA e cafeína. No entanto, apesar da maior participação de um ou outro composto, a origem dos scores foi explicada pela variabilidade existente no perfil dos compostos analisados.

3.2 Amostras processadas via seca de Bourbon Amarelo

Na Figura 2 são apresentados os scores dos dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via seca de Bourbon Amarelo. Neste grupo de amostras, oito receberam nota final abaixo de 86 e dezenove foram classificadas com notas iguais ou acima de 86.

As três primeiras componentes principais explicaram 91,92% da variabilidade entre as amostras. Mesmo considerando a terceira componente principal, não foi possível observar uma distribuição espacial dos dados capaz de formar grupos distintos.

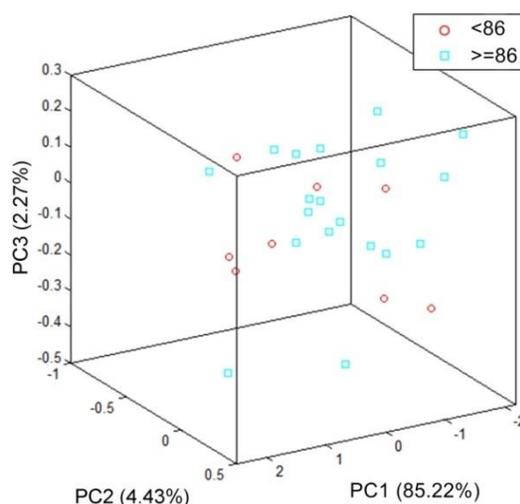


Figura 2 Scores das três componentes principais para dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via seca de Bourbon Amarelo. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 86 (<86); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 (>=86).

Amostras classificadas com notas abaixo de 86 e amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 não foram discriminadas. Esses resultados revelam que as amostras das duas categorias de nota final não apresentam

variabilidade no perfil de ácidos orgânicos e bioativos presentes no grão cru capaz de ser relacionada com as diferenças na qualidade da bebida (Figura 2).

3.3 Amostras processadas via úmida de Acaiá

Os scores dos dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via úmida do genótipo Acaiá são apresentados na Figura 3. Para este grupo de amostras, foram encontradas vinte e duas amostras classificadas com notas abaixo de 86 e cinco classificadas com notas iguais ou acima de 86.

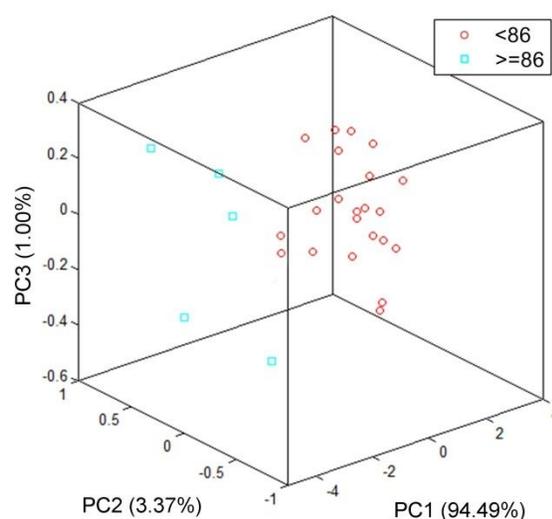


Figura 3 Scores das três componentes principais para dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via úmida de Acaiá. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 86 (<86); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 (>=86).

Estes resultados revelam que amostras classificadas com notas abaixo de 86 e amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 foram separadas em

razão das diferenças existentes no perfil de ácidos orgânicos e bioativos (Figura 3).

Na tabela 5 são apresentados os pesos dos compostos analisados nas três primeiras componentes principais de amostras processadas via úmida de Acaiá.

Tabela 5 Pesos dos ácidos orgânicos e bioativos nas três primeiras componentes principais de amostras processadas via úmida de Acaiá.

Parâmetro		PC1	PC2	PC3
		(94,49%)	(3,37%)	(1,00%)
Ácidos orgânicos	Cítrico	-0,707	0,501	-0,634
	Málico	-0,110	0,137	-0,207
	Quínico	-0,016	0,183	-0,370
	Succínico	-0,020	0,159	-0,289
	Lático	0,002	0,017	0,012
	Acético	0,002	0,088	-0,145
Bioativos	3-CQA	-0,274	0,103	-0,166
	4-CQA	0,080	0,053	-0,029
	5-CQA	-0,672	-0,526	0,635
	Cafeína	-0,182	0,215	0,203
	Trigonelina	-0,796	0,623	-0,680

Dentre os compostos, o ácido cítrico, o 5-CQA e a trigonelina foram os que apresentaram as maiores contribuições para as três componentes principais. Em relação aos demais ácidos orgânicos, o lático foi o que apresentou os menores pesos. Já dentre os demais bioativos, o composto 4-CQA foi o que apresentou as menores contribuições.

3.4 Amostras processadas via seca de Acaiá

Os scores dos dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras de Acaiá processadas via seca são apresentados na Figura 4. Ao todo, vinte amostras foram classificadas com notas abaixo de 86 e sete receberam nota final igual ou acima de 86 neste grupo.

Amostras classificadas com notas abaixo de 86 e amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 não foram discriminadas (Figura 4). Portanto, os resultados revelam que as diferenças no perfil de ácidos orgânicos e bioativos não foram determinantes na distinção da qualidade final.

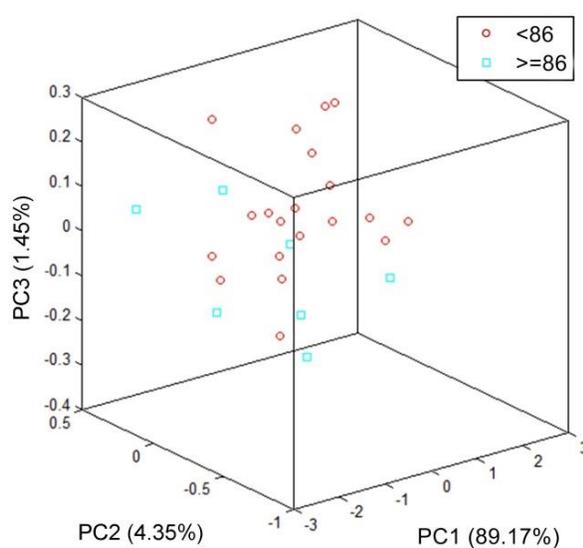


Figura 4 Scores das três componentes principais para dados do perfil de ácidos orgânicos e bioativos de amostras processadas via seca de Acaiá. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 86 (<86); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 (>=86).

Os resultados encontrados no presente estudo evidenciam a contribuição do perfil de ácidos orgânicos e bioativos presentes no grão cru para a explicação

do fenômeno da qualidade do café como produto de *terroir*. No entanto, esse fenômeno não ocorre de forma constante entre as possíveis combinações envolvendo genótipo e métodos de processamento.

Fica claro que a explicação do fenômeno depende diretamente do método do processamento, de tal maneira que, quando os cafés são descascados e desmucilados mecanicamente existe uma separação bem definida entre as amostras de acordo com as categorias de nota final consideradas. Porém, tanto para o genótipo Bourbon Amarelo como para o genótipo Acaiá, não foi observada a formação de grupos distintos quando adotado o processamento via seca.

De acordo com os resultados encontrados por Borém et al. (2017 – dados não publicados – artigo 1), cafés com notas acima de 85 para o grupo de variedades de fruto amarelo e cafés com notas acima de 86 para o grupo variedades de fruto vermelho apresentam correspondência com altitudes acima de 1100 m do ambiente de cultivo. Isto ocorre quando adotado o método de processamento com descascamento e desmucilamento mecânico dos frutos. Assim, os resultados encontrados neste estudo permitem associar o perfil de ácidos orgânicos e bioativos encontrados no grão cru com a discriminação da qualidade sensorial correspondente aos fatores genótipo, ambiente e processamento.

O forte impacto do processamento na composição química final do grão cru do café é reconhecido na literatura. Alguns estudos comprovam diferenças na atividade metabólica das sementes entre os métodos de processamento (VÁZQUEZ-RAMOS; SANCHEZ, 2003; ZHANG et al., 1993). Acredita-se ainda que essas diferenças promovam variações na composição química através de mecanismos de degradação ativados durante o processamento.

Do ponto de vista fisiológico, a remoção das partes que constituem o fruto favorece o processo de germinação do embrião (BYTOF et al., 2005).

Acredita-se que a germinação ocorre diferencialmente nas sementes durante o despulpamento em razão da remoção de inibidores presentes no exocarpo e mesocarpo. Assim, o descascamento e desmucilamento do café permitiria o desencadeamento das diversas reações relacionadas à germinação, como a mobilização de reservas resultando em diferentes perfis metabólicos comparativamente ao café natural. Mas, além dos compostos que fazem parte do mecanismo reserva do café, compostos presentes em menores concentrações, como ácidos orgânicos e bioativos, também podem apresentar variações significativas em função das transformações decorrentes do processamento (LELOUP et al., 2004; RIBEIRO, et al., 2016).

Por outro lado, uma das hipóteses para a variabilidade existente na composição final do grão se deve ao maior tempo de secagem associado à menor taxa de remoção de água como possíveis fatores responsáveis pela ocorrência de reações que degradam diferentes compostos, observadas com maior intensidade nos cafés processados por via seca comparativamente aos processados por via úmida (LELOUP et al., 2004). Isto implica nas possíveis mudanças na matriz química do café natural resultando em cafés com perfis sensoriais variáveis. Os resultados encontrados no presente estudo reforçam o efeito destes fatores, pois não foi possível encontrar um perfil definido dos compostos analisados em amostras processadas por via seca capaz de associar com as diferenças na qualidade da bebida. Já em amostras cujo fruto foi descascado e desmucilado mecanicamente foi possível associar a qualidade da bebida com o perfil de ácidos orgânicos e bioativos presentes no grão cru.

Classicamente, os estudos dos efeitos do ambiente sobre a qualidade da bebida do café relatam a forte influência tanto da temperatura quanto da precipitação na qualidade. Temperaturas baixas são responsáveis pelo adiamento do processo de amadurecimento que, por sua vez, leva ao maior acúmulo de compostos químicos e bioquímicos associados à melhora do aroma do café

(VAAST et al., 2006). Alguns atributos positivos de qualidade, como acidez, sabor frutado e qualidade do sabor estão correlacionados aos cafés produzidos em microclimas mais frios. Por outro lado, cafés cultivados sob condições de temperatura mais alta apresentam menor acidez e baixa qualidade aromática (BERTRAND et al., 2012). No entanto, apesar destas abordagens serem verdadeiras, elas não esgotam os fenômenos que ocorrem no cafeeiro e, sobretudo, nas principais rotas metabólicas dos frutos do café.

Os frutos maduros apresentam a máxima manifestação de todos os passos bioquímicos requeridos para a formação da semente ou do grão (DAMATTA et al., 2007). No entanto, logo após a retirada da planta, a matriz química do grão não representa a mesma matriz encontrada após a secagem (BYTOF et al., 2005; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006). Assim, considerando o efeito do ambiente sobre os constituintes químicos do café recém-colhido e todas as alterações que ocorrem durante o processamento e após a secagem, alguns questionamentos podem ser feitos, como por exemplo, qual método representa o maior impacto na matriz química original do grão? Com base na análise do perfil de ácidos orgânicos e bioativos realizada no presente estudo, os resultados encontrados permitem inferir que a retirada do exocarpo e mesocarpo dos frutos proporcionou as menores alterações na matriz química do grão seco em relação à do grão fresco. Por outro, as matrizes químicas descritas nos cafés naturais foram totalmente distintas entre si para os genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá. Isto pode significar a ocorrência de grandes transformações não controladas nesses compostos ao longo do processamento dos cafés por via seca, dificultando, assim, revelar o efeito do ambiente.

Do ponto de vista dos aspectos químicos relacionados à qualidade, os ácidos orgânicos em baixas concentrações são responsáveis por muitas fragrâncias encontradas no café. Existe ainda, a relação de cada ácido com o

sabor revelado na bebida. Como por exemplo, o sabor característico de limão decorrente do ácido cítrico, o sabor amanteigado do ácido láctico, bem como do sabor de maçã oriundo do ácido málico. No entanto, muitas das vezes, essas sensações são mais perceptíveis na forma de odores agradáveis encontrados no grão torrado e moído do que propriamente como sabores na bebida do café (LINGLE, 2011). Além disso, os ácidos orgânicos também contribuem para a formação da acidez na bebida do café. Embora não apresentem o maior teor dentre os ácidos presentes no café, os ácidos orgânicos tendem a produzir maior quantidade de íons de hidrogênio. Este aumento das concentrações de íons de hidrogênio está associado com a acidez percebida na bebida do café (LINGLE, 2011).

Na busca pela melhor compreensão das relações entre a composição de ácidos orgânicos com as características sensoriais do café, Borém et al. (2016) constataram que os teores médios dos ácidos láctico, acético, málico e cítrico não permitiram a discriminação dos cafés quanto à qualidade sensorial.

Na literatura, existe um grande número de trabalhos visando estabelecer relações entre os compostos bioativos, cafeína, trigonelina e 3,4 e 5-CQA presentes no grão cru com o perfil sensorial do café (BERTRAND et al., 2008; CAMPA et al., 2004; FARAH et al., 2006). Dentre esses compostos, a trigonelina tem sido indicada como um forte candidato para explicar as razões da qualidade do café. Porém, a trigonelina como também os demais bioativos não são capazes de determinar isoladamente a qualidade final da bebida do café. Para o presente estudo, a análise conjunta do perfil de ácidos orgânicos associado com os principais bioativos foi determinante na distinção da qualidade do café descascado e desmucilado mecanicamente.

Do ponto de vista da discriminação da qualidade da bebida, segundo o protocolo para análise de cafés especiais (SCAA, 2009), cafés classificados com notas abaixo de 85 são descritos como *premium*, e cafés com notas iguais ou

acima de 85 são descritos como *specialty origin*, representando duas categorias de café distintas. Assim, com base nessas descrições e nos resultados encontrados neste estudo é possível inferir que existem diferenças marcantes no perfil sensorial do café entre as categorias, que representam uma transição do padrão de qualidade. E que neste estudo essa transição foi revelada através da metodologia da SCAA, utilizando como parâmetro principal a nota final. Embora este tipo de metodologia seja de aplicação comercial e não científica, ela representa efetivamente as observações sobre o conceito de qualidade praticado no mercado de cafés especiais.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados no presente estudo conclui-se que:

É possível discriminar a qualidade sensorial do café descascado e desmucilado mecanicamente a partir do perfil de ácidos orgânicos associado com os bioativos, cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos (3,4 e 5-CQA) determinados no grão cru.

Não é possível discriminar a qualidade sensorial do café natural por meio da análise de ácidos orgânicos e bioativos presentes no grão cru.

REFERÊNCIAS

ALPIZAR, E. et al. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. **In: ASIC 2004. 20th International Conference on Coffee Science, Bangalore, India, 11-15 October 2004.** Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), 2005. p. 322-327.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS, BSCA. **Café especial: produção no Brasil deve ultrapassar Colômbia em menos de dois anos** Varginha, 2017. Disponível em: <<http://bsca.com.br/noticia.php?id=453>>. Acesso em: 20 de mai. 2017.

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**, London, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, May 2005.

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, Mar. 2008.

BERTRAND, B. et al. Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. **Food chemistry**, London, v. 135, n. 4, p. 2575-2583, July 2012.

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, 1995.

BYTOF, G. et al. Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, Heidelberg, v. 220, n. 3, p. 245-250, Nov. 2005.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; TAVEIRA, J. H. S. Coffee Processing. In: BORÉM, F. M. (Org.). **Handbook of coffee post-harvest technology**. Norcross, Georgia: Gin Press, 2014. v. 1, p. 49-68.

BORÉM, F. M. et al. The relationship between organic acids, sucrose and the quality of specialty coffees. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 11, n. 8, p. 709-717, Fev 2016.

CAMPA, C. et al. Trigonelline and sucrose diversity in wild Coffea species. **Food Chemistry**, Oxford, v. 88, n. 1, p. 39-43, Nov. 2004.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 485-510, Oct./Dec. 2007.

FARAH, A. et al. Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 5, p. 1105-1113, Feb. 2005.

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.

GALLI, V.; BARBAS, C. Capillary electrophoresis for the analysis of short-chain organic acids in coffee. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1032, n. 2, p. 299-304, Mar. 2004.

GINZ, M. et al. Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 211, p. 404-410, Jan. 2000.

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

JHAM, G. N. et al. Comparison of GC and HPLC for the quantification of organic acids in coffee. **Phytochemical Analysis**, Sussex, v. 13, n. 2, p. 99–104, Mar./Apr. 2002.

KLEINWÄCHTER, Maik; SELMAR, Dirk. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food chemistry**, London, v. 119, n. 2, p. 500-504, Mar. 2010.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **Food Research Technology**, Mysore, v. 223, p. 195-201, Dec. 2006.

KY, C. L. et al. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild coffee arabica L. and C. canephora P. accessions. **Food Chemistry**, London, v. 75, n. 2, p. 223-230, Nov. 2001.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. 4. ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

LELOUP, V. et al. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. CD ROM.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Breeding for low seed caffeine content of coffee (*Coffea* L.) by interspecific hybridization. **Euphytica**, Wageningen, v. 59, n. 1, p. 55-60, 1991.

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, Nov. 2012.

RIBEIRO, D. E. et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 11, n. 27, p. 2412-2422, July 2016.

ROGERS, W. J. et al. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in developing grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C. arabica*). **Plant Science**, Limerick, v. 149, n. 2-3, p. 115-123, Dec. 1999.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. 2009. SCAA Protocols - **Cupping Specialty Coffee**. Long Beach: SCAA. 2009. 7p.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of Science Food and Agriculture**, Sussex, v. 86, n. 1, p. 197-204, Oct. 2006.

VÁZQUEZ-RAMOS, Jorge M.; DE LA PAZ SÁNCHEZ, María. The cell cycle and seed germination. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 13, n. 02, p. 113-130, June 2003.

ZHANG, J. Z. et al. Two classes of isocitrate lyase genes are expressed during late embryogeny and postgermination in *Brassica napus* L. **Molecular and General Genetics**, New York, v. 238, n. 1-2, p. 177-184, Apr. 1993.

ARTIGO 3

PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS NA DISCRIMINAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ PROVENIENTE DE DIFERENTES GENÓTIPOS E MÉTODOS DE PROCESSAMENTO

RESUMO

A fim de ampliar a compreensão sobre o fenômeno da expressão da qualidade do café, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o perfil de ácidos graxos presentes no grão cru e investigar o potencial desses compostos na discriminação da qualidade sensorial de cafés provenientes de diferentes genótipos e métodos de processamento. Durante as safras 2010, 2011 e 2012, foram analisadas a qualidade da bebida do café e o perfil de ácidos graxos do grão cru de amostras representativas dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá. As amostras foram coletadas em lavouras comerciais com altitudes variando entre 932 a 1391 m, no município de Carmo de Minas, MG, Brasil. Os métodos de processamento adotados foram: via seca (café natural) e via úmida com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto. Todos os procedimentos de colheita e pós-colheita foram realizados conforme as principais tecnologias para produção de cafés especiais. A análise sensorial foi realizada utilizando-se a metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). As análises químicas foram realizadas por meio de cromatografia gasosa (GC). Os dados foram investigados aplicando-se a Análise de Componentes Principais (ACP). Além dos principais ácidos graxos presentes no óleo do café, como mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico, araquídico, eicosenoico e behênico; foram encontrados os ácidos eicosadienóico, erúico e lignocérico. Não foi possível discriminar a qualidade sensorial da bebida do café proveniente dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá, processados por via úmida ou via seca, por meio da análise do perfil de ácidos graxos determinados no grão cru.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Bourbon Amarelo. Ácido erúico. Café natural. Safra.

1 INTRODUÇÃO

As razões para a qualidade do café têm sido debatidas há anos e seguramente continuarão sendo objeto de estudo nas próximas décadas. Os conceitos de qualidade são extensos e podem ser compreendidos conforme sua contextualização. Por exemplo, a “qualidade do produto café”, ao contrário do conceito relacionado à "preferência do consumidor", corresponde a todas as propriedades que um grão normal e sadio pode apresentar. Sejam elas relacionadas com a composição química ou com características físicas e fisiológicas.

De acordo com a literatura científica, as propriedades intrínsecas do grão sofrem o efeito isolado ou da interação dos fatores ambiente, genótipo e métodos de processamento do café. (BERTRAND et al., 2006; BYTOF et al., 2005, 2007; LELOUP et al., 2004). E como resultado final, são manifestadas sensorialmente após a torração do grão cru seguida da preparação da bebida. Sendo assim, a qualidade do café se revela a partir do efeito *terroir* (AVELINO et al., 2005; BORÉM et al., 2017 – dados não publicados – artigo 1).

A expressão da qualidade é, portanto, um fenômeno de alta complexidade. Isto significa que toda tentativa de análise univariada dos dados feita até o momento de acordo com a literatura consultada, contribuiu parcialmente com a explicação sobre a expressão da qualidade do café. Além disto, a matriz química do café cru é variável e altamente complexa, seja em número ou em quantidade de compostos (CLIFFORD, 1985; MOREIRA; TRUGO; MARIA, 2000). Alguns desses compostos estão associados com qualidades inferiores e outros associados com sabores e aromas exóticos manifestados na bebida (ALPIZAR et al., 2004; FARAH et al., 2005; FIGUEIREDO et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016). Assim, torna-se evidente a aplicação de diferentes técnicas analíticas para investigar o maior número

possível de compostos químicos dos vários grupos funcionais. No entanto, são técnicas de alta complexidade e menor acessibilidade, como Espectroscopia Raman (EL-ABASSY; DONFACK; MATERNY, 2011), Ressonância Magnética Nuclear (TAVARES; FERREIRA, 2006) e outros métodos.

Para o presente estudo, os ácidos graxos foram selecionados como objeto de investigação por serem compostos citados na literatura recente como potenciais precursores da qualidade do café (FIGUEIREDO et al., 2015). Além disso, são compostos analisados através de técnicas analíticas acessíveis, como a cromatografia gasosa (NIKOLOVA-DAMYANOVA; VELIKOVA; JHAM, 1998).

De modo geral, os ácidos graxos podem contribuir com notas suaves de sabor encontrados nos alimentos. Assim, o aroma e o sabor percebidos nos alimentos costumam ser muito influenciados pelo tipo e pela concentração dos lipídeos presentes (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007; SAMPAIO et al., 2004).

Para o café, os ácidos graxos também são considerados relevantes. A sua composição determina a geração de produtos de oxidação termicamente induzidos, principalmente os aldeídos, que reagem com os intermediários da reação de Maillard durante a torração, originando compostos de sabor e aroma adicionais ao café (FLAMENT, 2002). Assim, a análise do perfil de ácidos graxos presentes no grão cru permite ampliar a compreensão sobre o fenômeno da expressão da qualidade do café.

Diante do exposto, buscou-se no presente estudo caracterizar o perfil de ácidos graxos presentes no grão cru e investigar o potencial desses compostos na discriminação da qualidade sensorial de cafés provenientes de diferentes genótipos e métodos de processamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização das amostras

As amostras de café (*Coffea arabica* L.) analisadas foram coletadas em lavouras comerciais de propriedades localizadas no município de Carmo de Minas (-22°6', -45°8'), Minas Gerais, Brasil, nas safras 2010, 2011 e 2012.

Ao longo das três safras foram coletadas amostras representativas do genótipo Bourbon Amarelo e do genótipo Acaiá em ambientes com altitudes variando entre 932 a 1391 m. Cada amostra coletada foi subdividida e processada em duas formas distintas: via seca (café natural) e via úmida com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto. Baseando-se nas combinações envolvendo os dois genótipos e os dois métodos de processamento estudados, foram gerados e analisados separadamente quatro grupos distintos, cada qual composto pelo total de 27 amostras (Tabela 1).

Tabela 1 Quantidade de amostras obtidas ao longo das safras para cada grupo envolvendo a combinação entre genótipo e método de processamento.

Genótipo	Processamento	Total de amostras
Bourbon amarelo	Via úmida	27
	Via seca	27
Acaiá	Via úmida	27
	Via seca	27

2.2 Tecnologias de colheita e pós-colheita adotadas na obtenção e preparo das amostras

Para avaliar o potencial máximo da qualidade sensorial, a colheita de cada amostra foi realizada manual e seletivamente, coletando-se somente os

frutos maduros. Em seguida, os frutos foram imersos em água e separados por diferença de densidade, aproveitando-se somente frutos maduros e densos. Após a separação hidráulica, uma parte dos frutos selecionados foi conduzida diretamente para a secagem a pleno sol representando o método de processamento via seca, resultando no café natural. Já a outra parte representou o método de processamento via úmida, no qual os frutos foram submetidos ao descascamento e desmucilamento mecânico retirando-se completamente o mesocarpo aderido ao endocarpo, resultando o café em pergaminho. Todos os procedimentos relacionados ao processamento e à secagem foram feitos seguindo as recomendações de boas práticas de pós-colheita do café (BORÉM et al., 2014).

Após a secagem, as amostras foram armazenadas em câmara com temperatura controlada, a 10 °C e umidade relativa de 60%, por um período de 30 dias. Em seguida, as amostras foram beneficiadas separando-se os grãos quanto à forma e o tamanho. Foram selecionados somente os grãos chatos das peneiras 16 a 18/64 de polegada. Posteriormente, todos os grãos imperfeitos defeituosos foram retirados da amostra. Esse procedimento visou à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas às variedades analisadas e aos métodos de processamento. Por fim, cada amostra preparada foi submetida às análises sensoriais e químicas.

2.3 Análise sensorial

A torração e análise sensorial das amostras foram realizadas conforme metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais – SCAA (LINGLE, 2011). As amostras foram avaliadas por quatro provadores treinados e qualificados como juízes certificados de cafés especiais. Em cada avaliação, foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra e

atribuídas notas no intervalo de 0 a 10 pontos para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e impressão global. A nota final representou a soma dos atributos. Cada processamento foi avaliado separadamente.

2.4 Análises químicas

Para a realização das análises químicas, os grãos crus de café foram moídos por cerca de 1 minuto em moinho 11A basic (IKA, Brasil), adicionando-se nitrogênio líquido para facilitar a moagem e evitar oxidações nas amostras. Após a moagem, as amostras foram acondicionadas em tubos falcon e armazenadas em *deepfreezer*, à temperatura de -80 °C, até a realização das análises.

2.4.1 Ácidos Graxos

Para extração dos ácidos graxos, aproximadamente 250 mg de grão cru moído de cada amostra foram colocados em tubos de microcentrífuga de 1,5 mL seguido da adição de 1,0 mL de hexano. Posteriormente, os tubos foram mantidos em banho ultrassônico por 10 minutos. Após banho ultrassônico, os tubos foram centrifugados a 6.000 rpm por 2 minutos. Por fim, foram evaporadas alíquotas de 500 µL de cada sobrenadante em tubos criogênicos de 2,0 mL e conduzidas para as etapas de hidrólise de lipídeos, metilação dos ácidos graxos e análise por cromatografia gasosa.

2.4.1.1 Hidrólise de lipídeos

Para a hidrólise de lipídeos, foram dissolvidos aproximadamente 10 mg do óleo extraído em 100 µl de uma solução de etanol (95%) hidróxido de potássio 1 mol/l (5%). Após agitação em vórtex por 10 segundos, o óleo foi hidrolisado utilizando forno de micro-ondas doméstico Panasonic®, à potência de 80 W, durante 5 minutos. Após resfriamento, adicionaram-se 400 µl de ácido clorídrico a 20%, uma ponta de espátula de NaCl e 600 µl de acetato de etila. Após agitação em vórtex por 10 segundos e repouso por 5 minutos, uma alíquota de 300 µl da camada orgânica foi retirada, colocada em tubos de micro centrífuga e secada por evaporação, obtendo-se, assim, os ácidos graxos livres (CHRISTIE, 1989, adaptado).

2.4.1.2 Metilação dos ácidos graxos

Os ácidos graxos livres foram metilados com 100 µl BF₃/metanol (14%) e aquecidos, durante 10 minutos, em banho de água, a 80 °C. Em seguida, foram diluídos com 300 µl de metanol e analisados por cromatografia gasosa.

2.4.1.3 Cromatografia gasosa

As análises foram realizadas em um cromatógrafo a gás Shimadzu GC2010 equipado com detector por ionização de chamas. Utilizou-se uma coluna SP-2380 (Supelco) 30 m x 0,25 mm, com gradiente de temperatura: 150 °C, 1 minuto, 7 °C/min até 220 °C; injetor (split de 1/50), a 250 °C e detector a 250 °C; Hidrogênio como gás de arraste (2 ml/min) e volume de injeção de 2 µl. A identificação dos picos correspondentes aos ácidos foi feita por comparação com padrões de ácidos graxos metilados Supelco37. Os teores finais foram

dados em porcentagem de área relativa. Foram identificados os seguintes ácidos: mirístico, palmítico, esteárico, oleico, linoleico, araquídico, eicosenoico, linolênico, eicosadienóico, behênico, erúico e lignocérico.

2.5 Análise estatística

A relação do perfil de ácidos graxos determinados no grão cru com a qualidade da bebida foi investigada através da Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando o software estatístico Chemoface (NUNES et al., 2012). As variáveis químicas consideradas foram os teores finais dos compostos determinados. A variável sensorial considerada foi nota final resumida em um único valor a partir da média aritmética entre os provadores. Todos os dados foram centrados na média.

A investigação foi feita separadamente em quatro grupos de amostras formados a partir da combinação dos genótipos (Acaiá e Bourbon Amarelo) e dos métodos de processamento avaliados (via seca e via úmida). Para cada grupo, foram criadas duas categorias de nota final visando a melhor compreensão da discriminação das amostras de acordo com a composição de ácidos graxos (Tabela 2). As categorias de nota final foram geradas com base em resultados que constataram a correspondência da qualidade com fatores ambientais, genótipos e métodos de processamento (BORÉM et al., 2017 – dados não publicados – artigo 1).

Tabela 2 Categorias de nota final para cada grupo de amostra.

Genótipo	Processamento	Categoria de nota final	
Bourbon Amarelo	Via úmida	<85	≥85
	Via seca	<86	≥86
Acaiá	Via úmida	<86	≥86
	Via seca	<86	≥86

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3 são apresentados os teores médios do perfil de ácidos graxos para amostras dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá processadas por via úmida e via seca.

Tabela 3 Teores médios (% de área relativa) do perfil de ácidos graxos para cada grupo de amostras.

Composto	Bourbon Amarelo		Acaiá	
	Via úmida	Via seca	Via úmida	Via seca
mirístico	0,95	1,06	0,61	0,78
palmítico	38,64	38,14	38,25	37,51
esteárico	8,37	7,42	7,20	7,24
oleico	8,20	7,65	8,67	8,59
linoleico	38,10	38,93	41,86	42,49
araquídico	2,67	4,27	0,91	0,82
eicosenoico	0,01	0,01	0,00	0,03
linolênico	1,36	1,14	1,20	1,26
eicosadienóico	0,23	0,26	0,38	0,11
behênico	0,41	0,33	0,32	0,37
erúcico	1,06	0,76	0,57	0,78
lignocérico	0,01	0,04	0,03	0,03

Os ácidos graxos predominantes encontrados foram o palmítico e o linoleico. Os ácidos esteárico, oleico e araquídico foram encontrados em quantidades moderadas. Os demais ácidos, linolênico, mirístico, erúcico, behênico, eicosadienóico, lignocérico e eicosenoico, também foram identificados apresentando valores médios inferiores a 1,4%. O ácido eicosenoico não foi identificado em amostras de Acaiá processadas via úmida.

No presente estudo, a composição de ácidos graxos obtida nos grãos crus de café está de acordo com valores reportados em trabalhos anteriores (BERTRAND et al., 2008; JOËT et al., 2010).

A seguir serão apresentados os resultados da investigação do perfil de ácidos graxos com a qualidade sensorial do café para cada grupo de amostras.

3.1 Amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo

Na Figura 1 são apresentados os scores dos dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo. Para este grupo, dez amostras receberam nota final abaixo de 85 e dezessete foram classificadas com notas iguais ou acima de 85.

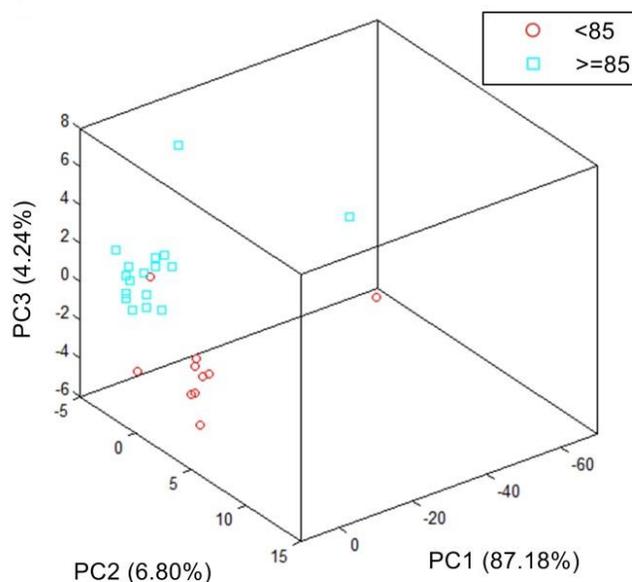


Figura 1 Scores dos três componentes principais para dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via úmida de Bourbon Amarelo. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 85 (<85); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 85 (>=85).

Os dados foram analisados considerando a terceira componente principal com a finalidade de tentar explicar o fenômeno da expressão da qualidade. Embora as três primeiras componentes principais tenham explicado praticamente toda a variabilidade entre amostras 98,22%, os scores não se distribuíram o suficiente para formação de agrupamentos distintos em função da categoria de nota final (Figura 1).

De modo geral, os dados se apresentaram muito próximos da origem das três componentes principais. É possível observar ainda uma tendência de separação entre os scores, pois somente uma amostra classificada com notas abaixo de 85 apresentou alta similaridade no perfil dos compostos analisados com amostras classificadas com notas iguais ou acima de 85 (Figura 1).

Os resultados revelam que amostras classificadas com notas iguais ou acima de 85 não apresentam diferenças marcantes no perfil de ácidos graxos presentes no grão cru em relação às amostras classificadas com notas abaixo de 85. Além disso, permite inferir que a variabilidade no conjunto desses compostos não foi determinante para distinção da qualidade sensorial de amostras de Bourbon Amarelo processadas com descascamento e desmucilamento mecânico do fruto (via úmida).

3.2 Amostras processadas via seca de Bourbon Amarelo

Os scores dos dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via seca de Bourbon Amarelo são apresentados na Figura 2. Neste grupo de amostras, oito foram classificadas com notas abaixo de 86 e dezenove foram classificadas com notas iguais ou acima de 86. As três primeiras componentes principais explicaram 96,77% da variabilidade entre as amostras.

Os compostos analisados simultaneamente não apresentaram variabilidade o suficiente para distinção entre as amostras das categorias de nota

final. Amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 não apresentam diferenças distintas no perfil de ácidos graxos presentes no grão cru em relação às amostras classificadas com notas abaixo de 86 (Figura 2).

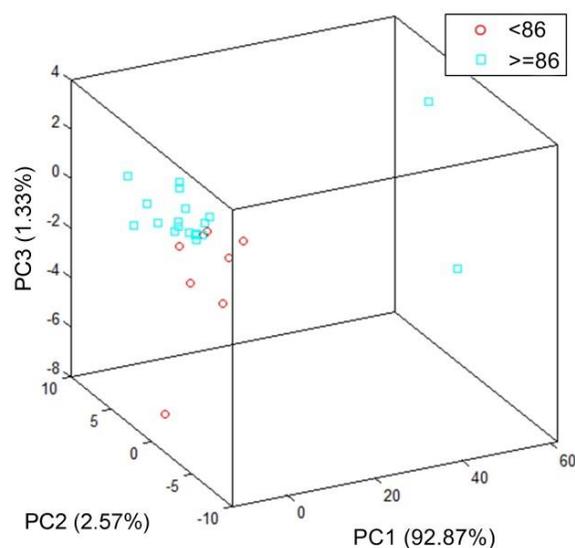


Figura 2 Scores dos três componentes principais para dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via seca de Bourbon Amarelo. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 86 (<86); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 (>=86).

Os resultados demonstram que as diferenças no perfil desses compostos presentes no grão cru não foram determinantes na distinção da qualidade sensorial de amostras do genótipo Bourbon Amarelo, quando adotado o método de processamento via seca.

3.3 Amostras processadas via úmida de Acaiá

Na Figura 3 são apresentados os scores dos dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via úmida do genótipo Acaiá. Para esse grupo

de amostras, vinte e duas foram classificadas com notas abaixo de 86 e cinco receberam notas iguais ou acima de 86. As três primeiras componentes principais explicaram 91,27% da variabilidade dos dados.

De modo geral, os dados se distribuíram próximos da origem das componentes principais consideradas. Não é possível observar tendências de separação entre os scores, pois todas as amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 apresentaram alta similaridade no perfil dos compostos analisados com amostras classificadas com notas abaixo de 86 (Figura 3).

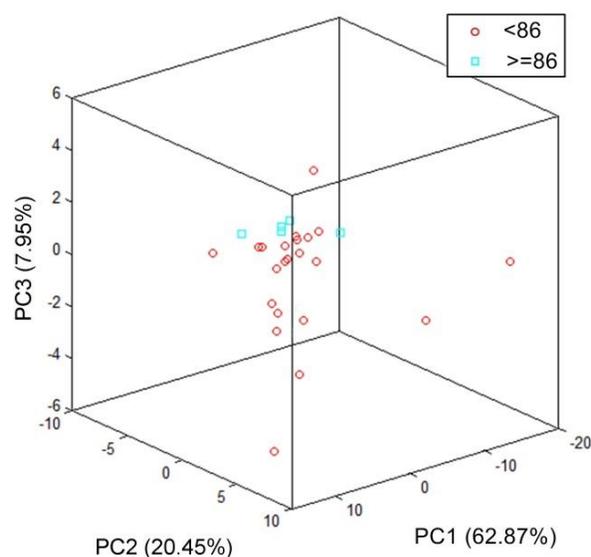


Figura 3 Scores dos três componentes principais para dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via úmida de Acaiá. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 86 (<86); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 (>=86).

Amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 não apresentam diferenças distintas no perfil de ácidos graxos presentes no grão cru em relação às amostras classificadas com notas abaixo de 86. Esses resultados demonstram que as diferenças no conteúdo destes compostos identificados no grão cru não

foram determinantes na distinção da qualidade sensorial de amostras do genótipo Acaiá processadas com descascamento e desmucilamento mecânico dos frutos (via úmida).

3.4 Amostras processadas via seca de Acaiá

Os scores dos dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via seca do genótipo Acaiá são apresentados na Figura 4.

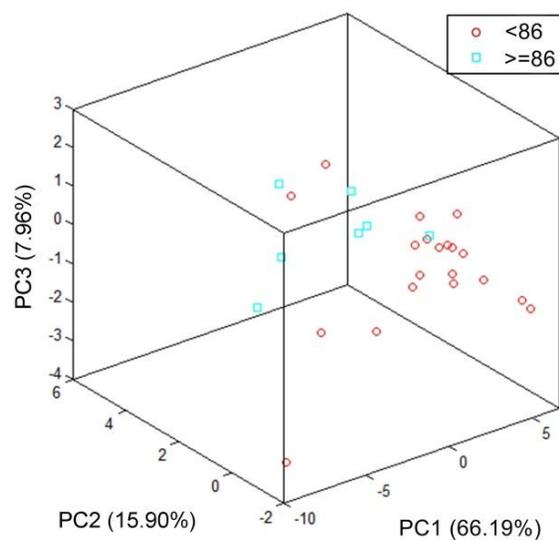


Figura 4 Scores dos três componentes principais para dados do perfil de ácidos graxos de amostras processadas via seca de Acaiá. Nota: Categorias de nota final: amostras classificadas com notas abaixo de 86 (<86); amostras classificadas com notas iguais ou acima de 86 (>=86).

Neste grupo amostras, vinte receberam nota final abaixo de 86 e sete foram classificadas com notas iguais ou acima de 86. As três primeiras componentes principais explicaram 90,05% da variabilidade entre as amostras.

Porém, mesmo considerando a terceira componente os scores formados não se agruparam em função das categorias de nota final (Figura 4).

A variabilidade existente nesses compostos não foi capaz de distinguir as amostras considerando as categorias de nota final. Dessa forma, os resultados revelam que as diferenças no perfil de ácidos graxos identificados no grão cru não foram determinantes na distinção da qualidade sensorial de amostras de Acaiá processadas via seca.

Na literatura, os principais ácidos graxos presentes no óleo do café são mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico, araquídico, eicosenoico e ácido behênico (FOLSTAR, 1985; JOËT et al., 2010; LERCKER et al., 1996). Porém, embora presentes em menores quantidades, outros ácidos também são encontrados, o margárico (BERTRAND et al., 2008). No presente estudo, além dos principais, foram encontrados os ácidos eicosadienóico, erúxico e lignocérico.

O ácido eicosadienóico também é encontrado em pequenas quantidades em sementes de outras culturas, como a chia (COELHO; SALLAS-MELADO, 2014). Já o ácido erúxico é considerado raro de ser encontrado, porém, estão presentes em óleos de canola (SORREL; SHURSON, 1992). E o ácido lignocérico é comumente encontrado em outros alimentos como a carne (MENEZES et al., 2014).

O perfil de ácidos graxos tem sido utilizado como uma importante ferramenta para discriminação de cafés, sobretudo por depender de fatores como espécie e variedade. Pesquisas constataam a grande contribuição dos ácidos oleico, linolênico, linoleico e mirístico na distinção de espécies do gênero *Coffea* (AMARAL et al., 2006; MARTÍN et al., 2001).

Avaliando o efeito de diferentes genótipos e ambientes e sua interação sobre a composição de ácidos graxos em grãos crus de café, Bertrand et al. (2008) indicaram o potencial dos ácidos palmítico, esteárico, linoleico e

linolênico para a diferenciação de ambientes e genótipos de cafés, embora a interação entre esses dois fatores não tenha sido significativa.

Além dos fatores inerentes ao genótipo, às condições climáticas também têm sido estudadas para explicar as diferenças das principais vias metabólicas do café, dentre elas a síntese de ácidos graxos. Em pesquisa realizada na Ilha Reunion, o ácido linoleico foi encontrado em maiores teores no café cultivado em ambientes com temperaturas decrescentes. Por outro lado, o conteúdo de ácido oleico foi encontrado em menores quantidades (JOËT et al., 2010). Do ponto de vista sensorial, ainda que os óleos presentes na bebida café proporcionem a sensação bucal oleosa e cremosa, caracterizando o atributo corpo (ILLY; VIANI, 2005), são poucos os trabalhos que visam correlacionar a qualidade final do café com a composição de ácidos graxos presentes no grão cru.

Recentemente, em pesquisa realizada com genótipos de Bourbon Amarelo, alguns ácidos se correlacionaram diferentemente com a qualidade sensorial. Os ácidos araquídico, esteárico e palmítico foram descritos como potenciais discriminadores da qualidade de cafés especiais, indicando a melhor qualidade sensorial. Por outro lado, o ácido eláidico foi o que se relacionou com cafés de qualidade sensorial inferior (FIGUEIREDO et al., 2015). No entanto, os resultados do presente estudo indicam que a variabilidade no perfil de ácidos graxos determinado no grão cru do café não foi capaz de discriminar claramente amostras com bebidas de qualidades distintas.

Algumas pesquisas constataam a formação de aromas desagradáveis em produtos cárneos (GARCIA et al., 2012) e em óleos vegetais (FERRARI; SOUZA et al., 2009) resultantes da oxidação de ácidos graxos insaturados. Para o café, esses ácidos são indicados como compostos que estão associados a menores intensidades de acidez, fragrância, sabor e corpo, importantes atributos avaliados na bebida. Por outro lado, os ácidos graxos saturados araquídico e

esteárico foram associados com o aumento do corpo da bebida (FIGUEIREDO et al., 2015).

No presente estudo, analisando de modo geral os grupos de amostras resultantes da combinação entre genótipo e método de processamento, não foi possível estabelecer uma associação clara entre o perfil de ácidos graxos com a qualidade sensorial do café. Entretanto, alguns ácidos apresentaram contribuições mais relevantes que outros na discriminação das amostras (APÊNDICE D).

Os ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico e araquídico foram os que apresentaram os maiores pesos, com seus valores variando entre as três componentes principais. Isto ocorreu para os quatro grupos de amostras analisados. Dentre esses ácidos, o oleico e o linoleico são insaturados e os ácidos palmítico, esteárico e araquídico são saturados. Já os demais ácidos, além de apresentar os menores pesos, suas contribuições na discriminação das amostras para os diferentes genótipos e processos foram inconsistentes.

Estas considerações não estão necessariamente ligadas ao teor desses compostos. Isto porque, o ácido araquídico, mesmo sendo encontrado com valores médios abaixo de 1% em amostras provenientes do genótipo Acaíá, contribuiu diferentemente de outros com teores médios superiores ao seu, como o ácido linolênico (Tabela 2).

Estes resultados indicam que existem ácidos que apresentam maior potencial para explicar as diferenças sensoriais do café. Além disto, sugere-se que em análises futuras sejam investigados principalmente os ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico e araquídico como potenciais descritores químicos da qualidade.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados no presente estudo conclui-se que:

Para os genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá, processados com ou sem descascamento e desmucilamento mecânico do fruto, não é possível discriminar a qualidade sensorial da bebida a partir do perfil de ácidos graxos determinados no grão cru.

REFERÊNCIAS

ALPIZAR, E. et al. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. **In: ASIC 2004. 20th International Conference on Coffee Science, Bangalore, India, 11-15 October 2004.** Association Scientifique Internationale du Café (ASIC), 2005. p. 322-327.

AMARAL, J. S. et al. Influence of cultivar and environmental conditions on the triacylglycerol profile of hazelnut (*Corylus avellana* L.). **Journal of agricultural and food chemistry**, Washington, v. 54, n. 2, p. 449-456, Jan. 2006.

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**, London, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, May. 2005.

BERTRAND, B. et al. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, Oxford, v. 26, n. 9, p. 1239-1248, Sept. 2006.

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, Mar. 2008.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; TAVEIRA, J. H. S. Coffee Processing. In: BORÉM, F. M. (Org.). **Handbook of coffee post-harvest technology.** Norcross, Georgia: Gin Press, 2014. v. 1, p. 49-68.

BYTOF, G. et al. Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research Technology**, Heidelberg, v. 220, n. 3, p. 245-250, Nov. 2005.

BYTOF, G. et al. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, Oxford, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.

CHRISTIE, W. W. **Gas chromatography and lipids**. Ayr: Oily Press, Dundee, 1989. 307 p.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. New York: Croom Helm, 1985. p. 305-374.

COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. M. Composição química e teor de ácidos graxos da semente de chia (*Salvia hispanica* L.): um alimento funcional. In: 13ª Mostra da Produção Universitária, 2014, Rio Grande do Sul. **Caderno de resumos expandidos**. Rio Grande do Sul, Brasil: 2014.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

EL-ABASSY, R. M.; DONFACK, P.; MATERNY, A. Discrimination between Arabica and Robusta green coffee using visible micro Raman spectroscopy and chemometric analysis. **Food Chemistry**, London, v. 126, n. 3, p. 1443-1448, Jun. 2011.

FARAH, A. et al. Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 5, p. 1105-1113, Feb. 2005.

FERRARI, R. A.; SOUZA, W. L. Evaluation of oxidation stability of sunflower oil biodiesel with antioxidants. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 106-111, 2009.

FIGUEIREDO, L. P. et al. Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 10, n. 35, p. 3484-3493, 2015.

FLAMENT, I. **Coffee flavour chemistry**. Chichester: J. Wiley, 2002. 410 p.

FOLSTAR, P. Lipids. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Chemistry/Elsevier, 1985. v. 1, p. 203-222.

GARCIA, C. E. R. et al. Carotenoides bixina e norbixina extraídos do urucum (*Bixa orellana* L.) como antioxidantes em produtos cárneos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1510-1517, Ago. 2012.

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

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, Feb. 2010.

LELOUP, V. et al. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. CD ROM.

LERCKER, G. et al. La frazione lipidica del caffè. 2: su alcuni parametri di qualificazioni. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 35, n. 353, p. 1186-1193, 1996.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor**. 4. ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MARTÍN, M. J. et al. Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation. **Talanta**, London, v. 54, n. 2, p. 291-297, Abr. 2001.

MENEZES, L. F. G. et al. Perfil de ácidos graxos na carne de novilhos superjovens da raça Devon, terminados sob diferentes sistemas de alimentação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3273-3286, 2014.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; MARIA, C. A. B. 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.

NIKOLOVA-DAMYANOVA, B.; VELIKOVA, R.; JHAM, G. N. Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species in crude coffee beans harvested in Brazil. **Food Research International**. Barking, v. 31, n. 6, p. 479-486, Aug. 1998.

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, Nov. 2012.

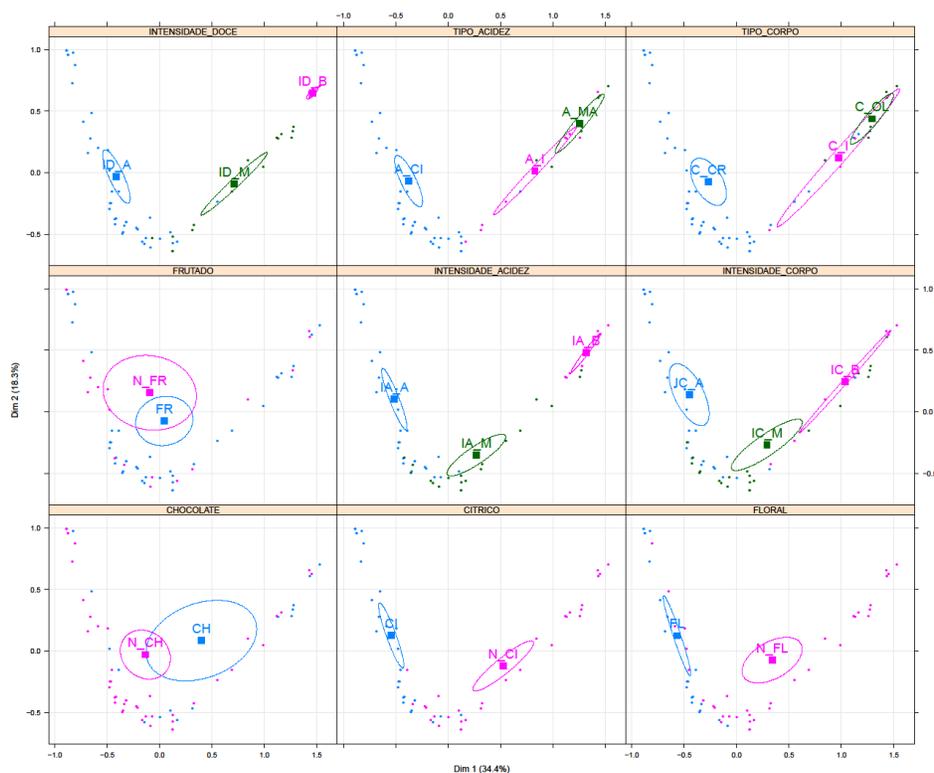
RIBEIRO, D. E. et al. Interaction of genotype, environment and processing in the chemical composition expression and sensorial quality of Arabica coffee. **African Journal of Agricultural Research**, Ebene, v. 11, n. 27, p. 2412-2422, July 2016.

SAMPAIO, G.R. et al. Effect of fat replacers on the nutritive value and acceptability of beef frankfurters. **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 17, n. 3, p. 469-474, Jun./Aug. 2004.

SORREL, E. R.; SHURSON, G. C. Use of canola and canola meal in swine diets reviewed. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 62, n. 14, p. 13-16, 1992.

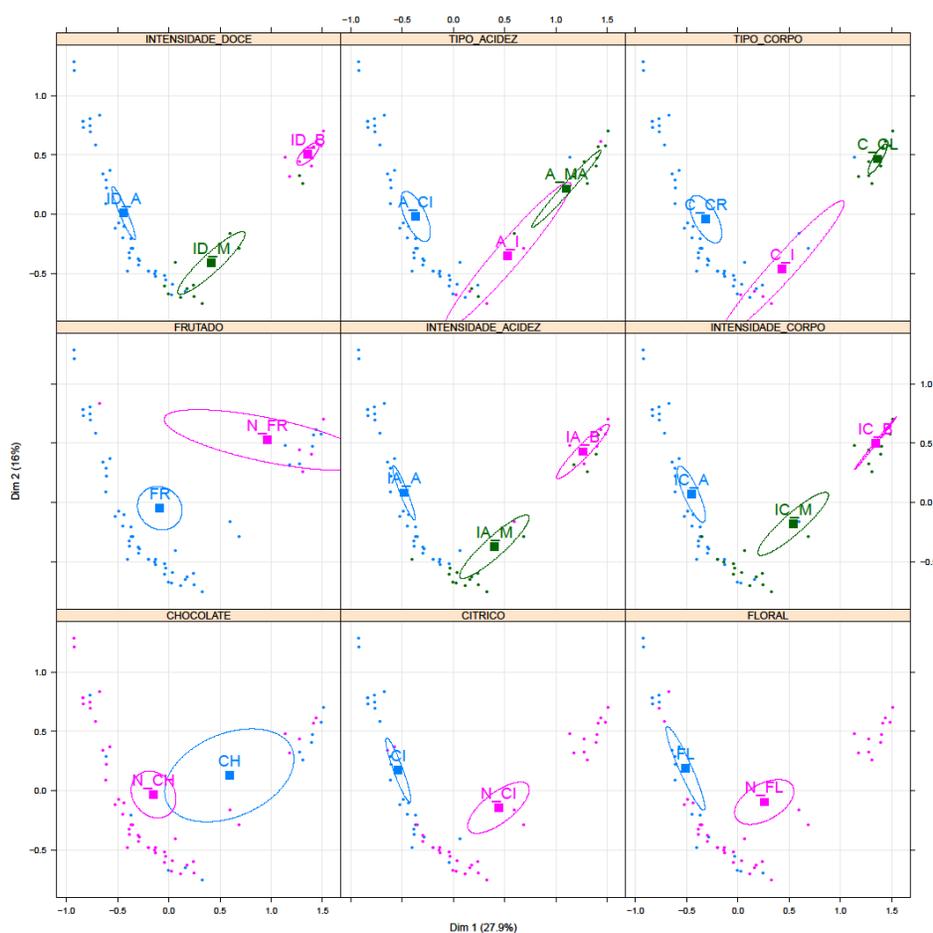
TAVARES, L. A.; FERREIRA, A. G. Análises quali-e quantitativa de cafés comerciais via ressonância magnética nuclear. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 911, Set./Out. 2006.

APÊNDICE A



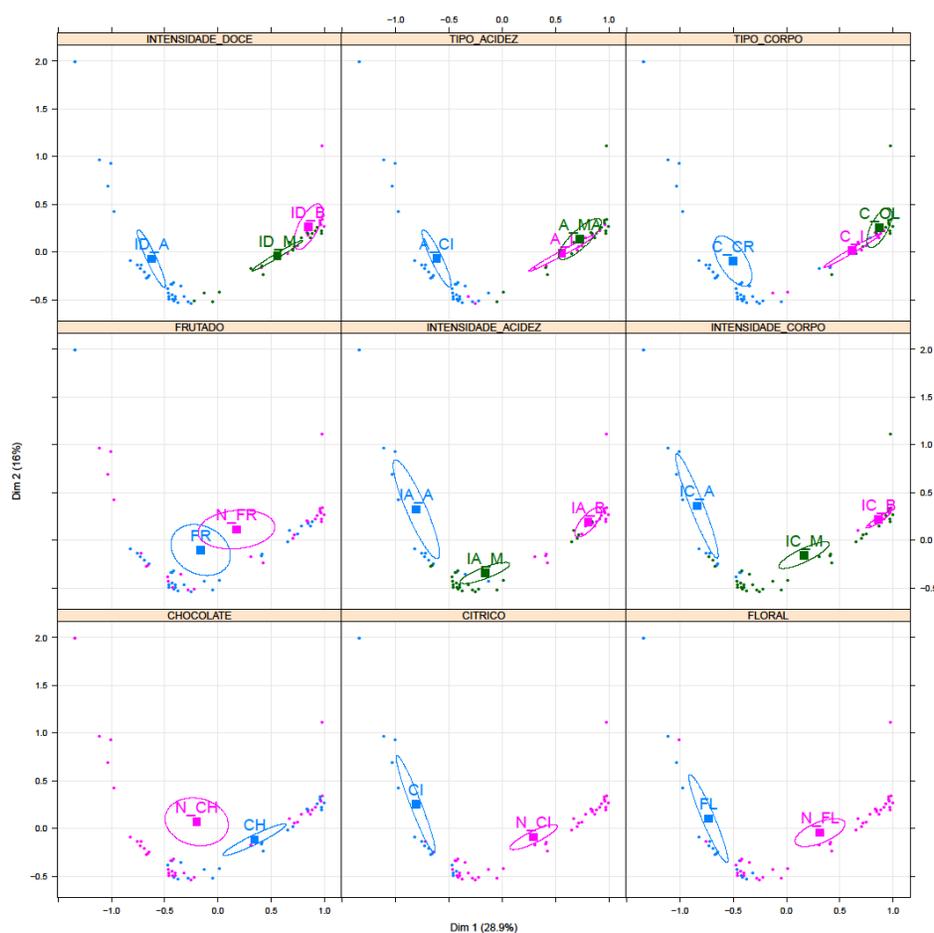
Gráficos de correspondência das categorias das variáveis: tipo de acidez, corpo e sabor e intensidades de doçura, acidez e corpo para o grupo de variedades de fruto amarelo processado por via úmida. Nota: categorias das variáveis: intensidade de doçura – alta (ID_A), média (ID_M) e baixa (ID_B); tipo de acidez (Tipo acidez) – cítrica (A_CI), málica (A_MA) e indefinida (A_I); tipo de corpo (Tipo corpo) – cremoso (C_CR), oleoso (C_OL) e indefinido (C_I); presença do sabor frutado (FR) e ausência do sabor frutado (N_FR); intensidade de acidez – alta (IA_A), média (IA_M) e baixa (IA_B); intensidade de corpo – alta (IC_A), média (IC_M) e baixa (IC_B); presença do sabor chocolate (CH) e ausência do sabor chocolate (N_CH); presença do sabor cítrico (CI) e ausência do sabor cítrico (N_CI); presença do sabor floral (FL) e ausência do sabor floral (N_FL).

APÊNDICE B



Gráficos de correspondência das categorias das variáveis: tipo de acidez, corpo e sabor e intensidades de doçura, acidez e corpo para o grupo de variedades de fruto amarelo processado por via seca. Nota: categorias das variáveis: intensidade de doçura – alta (ID_A), média (ID_M) e baixa (ID_B); tipo de acidez (Tipo acidez) – cítrica (A_CI), málica (A_MA) e indefinida (A_I); tipo de corpo (Tipo corpo) – cremoso (C_CR), oleoso (C_OL) e indefinido (C_I); presença do sabor frutado (FR) e ausência do sabor frutado (N_FR); intensidade de acidez – alta (IA_A), média (IA_M) e baixa (IA_B); intensidade de corpo – alta (IC_A), média (IC_M) e baixa (IC_B); presença do sabor chocolate (CH) e ausência do sabor chocolate (N_CH); presença do sabor cítrico (CI) e ausência do sabor cítrico (N_CI); presença do sabor floral (FL) e ausência do sabor floral (N_FL).

APÊNDICE C



Gráficos de correspondência das categorias das variáveis: tipo de acidez, corpo e sabor e intensidades de doçura, acidez e corpo para o grupo de variedades de fruto vermelho processado por via úmida. Nota: categorias das variáveis: intensidade de doçura – alta (ID_A), média (ID_M) e baixa (ID_B); tipo de acidez (Tipo acidez) – cítrica (A_CI), málica (A_MA) e indefinida (A_I); tipo de corpo (Tipo corpo) – cremoso (C_CR), oleoso (C_OL) e indefinido (C_I); presença do sabor frutado (FR) e ausência do sabor frutado (N_FR); intensidade de acidez – alta (IA_A), média (IA_M) e baixa (IA_B); intensidade de corpo – alta (IC_A), média (IC_M) e baixa (IC_B); presença do sabor chocolate (CH) e ausência do sabor chocolate (N_CH); presença do sabor cítrico (CI) e ausência do sabor cítrico (N_CI); presença do sabor floral (FL) e ausência do sabor floral (N_FL).

APÊNDICE D

Pesos dos ácidos graxos nas três primeiras componentes principais de amostras processadas por via úmida e via seca dos genótipos Bourbon Amarelo e Acaiá.

Parâmetro	Bourbon Amarelo						Acaiá					
	Via úmida			Via seca			Via úmida			Via seca		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
mirístico	0,00	-0,03	-0,00	0,00	-0,22	0,04	0,03	-0,01	0,02	0,09	-0,01	-0,27
palmítico	-0,13	-0,14	0,93	-0,11	-0,75	0,60	0,06	0,97	0,13	-0,61	0,66	0,27
esteárico	0,43	-0,13	0,19	0,43	-0,31	0,24	-0,22	-0,14	0,80	0,45	0,23	0,74
oleico	0,03	0,21	0,09	0,09	0,18	-0,42	-0,15	0,07	0,34	0,24	-0,25	0,30
linoleico	0,72	-0,66	0,02	0,61	0,46	-0,49	0,96	-0,07	0,22	-0,59	-0,52	0,31
araquídico	-0,68	-0,67	-0,15	-0,77	0,19	-0,38	-0,04	0,02	0,28	0,09	0,26	-0,13
linolênico	0,02	0,06	0,01	0,02	-0,03	-0,08	-0,01	-0,05	0,02	-0,03	-0,03	-0,04
eicosadienóico	-0,01	0,07	0,06	-0,02	-0,02	-0,04	-0,09	0,04	-0,02	0,01	0,01	0,01
behênico	0,01	-0,01	0,01	0,01	-0,04	0,01	-0,04	-0,02	0,07	0,05	0,04	-0,04
erúcido	0,01	-0,06	0,25	0,01	-0,01	-0,05	0,02	-0,01	0,23	0,06	0,33	-0,30
lignocérico	0,00	-0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00	-0,01	-0,01
Variabilidade (%)	87,18	6,80	4,24	92,87	2,57	1,33	62,87	20,45	7,95	66,19	15,90	7,96

Em módulo, os pesos do ácido eicosenoico foram inferiores a 0,01 em todas as componentes principais para os genótipos e métodos de processamento avaliados.