



LUIA PEREIRA FIGUEIREDO

**ABORDAGEM SENSORIAL E QUÍMICA DA
EXPRESSÃO DE GENÓTIPOS DE BOURBON
EM DIFERENTES AMBIENTES**

**LAVRAS-MG
2013**

LUIZA PEREIRA FIGUEIREDO

**ABORDAGEM SENSORIAL E QUÍMICA DA EXPRESSÃO DE
GENÓTIPOS DE BOURBON EM DIFERENTES AMBIENTES**

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

Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Figueiredo, Luisa Pereira.

Abordagem sensorial e química da expressão de genótipos de Bourbon em diferentes ambientes/ Luisa Pereira Figueiredo. – Lavras : UFLA, 2013.

127 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Flávio Meira Borém.

Bibliografia.

1. Cafés especiais. 2. Qualidade. 3. Análise multivariada. 4. Composição química. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.07

LUISA PEREIRA FIGUEIREDO

**ABORDAGEM SENSORIAL E QUÍMICA DA EXPRESSÃO DE
GENÓTIPOS DE BOURBON EM DIFERENTES AMBIENTES**

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

APROVADA em 22 de abril de 2013.

Dr. Gerson Silva Giomo	IAC
Dra. Helena Maria Ramos Alves	Embrapa
Prof. Dr. Marcelo Ângelo Cirillo	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Malta	EPAMIG

Prof. Dr. Flávio Meira Borém
Orientador

**LAVRAS - MG
2013**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força, coragem e, sobretudo, a alegria para realizar este trabalho.

Aos meus pais, Josué e Cristina, pelo apoio e incentivo incondicional.

Ao Rafa, pelo amor, compreensão e paciência.

Ao professor Flávio Borém, pelos constantes e valiosos ensinamentos, pela dedicação, valorização pessoal, confiança e, em especial, pelo incentivo nos momentos mais difíceis.

Aos membros da banca e coorientadores, pela disponibilidade em contribuir e pelos ensinamentos.

Às amigas Fabiana e Marali, pela amizade sincera, auxílio e conselhos, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos amigos do laboratório (LPPA) pelos momentos de descontração, experiências compartilhadas e auxílio fundamental para o desenvolvimento dos trabalhos.

Aos amigos e funcionários e professores do Departamento de Ciência dos Alimentos e Engenharia Agrícola, pela convivência diária, motivação e auxílio.

A todos os amigos e familiares que torceram por mim e me apoiaram.

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de pós-graduação em Ciência dos Alimentos, pela oportunidade e ao CNPq, pela disponibilização da bolsa de estudos.

Às instituições parceiras deste trabalho, EPAMIG e IAC.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

O crescimento da demanda por cafés especiais no mercado internacional, associado à qualidade intrínseca da cultivar Bourbon para a produção de cafés diferenciados e a diversidade ambiental do Brasil, justifica estudos que visem compreender a relação desses fatores com a produção de cafés especiais. Em vista disso, este trabalho foi realizado com os objetivos de: i) avaliar como a interação entre genótipos de 'Bourbon' e diferentes ambientes afeta a qualidade sensorial dos cafés, bem como relacionar a composição química (trigonelina, 5-ACQ e cafeína) dos grãos com a sua expressão sensorial; ii) verificar a ocorrência de genótipos mais promissores à produção de cafés especiais em três diferentes ambientes, e verificar a influência da interação desses fatores sobre a composição de ácidos orgânicos e sacarose e iii) investigar a relação entre a composição de ácidos graxos e as características sensoriais de diferentes genótipos de 'Bourbon' cultivados sob diferentes condições edafoclimáticas. Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao grupo da cultivar Bourbon. Os quatro genótipos estudados foram avaliados na forma de experimento em campo, no sul do estado de Minas Gerais e na região da Mogiana, no estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Gramma, SP. Os experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com três repetições em campo e parcelas constituídas por dez plantas. Concluiu-se que: i) São Sebastião da Gramma foi o ambiente mais promissor para a produção de cafés especiais. Os genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 e Bourbon Amarelo/ Origem SSP foram os mais indicados para a produção de cafés especiais. Independente do ambiente de cultivo, o genótipo Bourbon Amarelo/Origem CM não é indicado para a produção de cafés especiais. O conteúdo de cafeína possibilitou a discriminação de cafés quanto à qualidade de bebida; ii) O conteúdo de sacarose e ácido oxálico foram bons discriminadores da qualidade de cafés especiais. Cafés com qualidade superior têm maiores teores de sacarose e menores teores de ácidos oxálicos; iii) os ácidos graxos saturados araquídico, esteárico e palmítico são possíveis discriminadores da qualidade de cafés especiais. Os ácidos graxos insaturados elaídico, oleico, linoleico e linolênico se relacionaram com cafés menos intensos em acidez, fragrância, corpo e sabor.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Análise sensorial. Compostos químicos. Qualidade. Bourbon. Ambiente.

ABSTRACT

The increasing demand for specialty coffees on the international market, together with the intrinsic quality of the Bourbon cultivar for production of differentiated coffees and the environmental diversity of Brazil, justify studies for the purpose of understanding the relation of these factors to production of specialty coffees. Thus, the aim of this study was to: i) assess how the interaction between Bourbon genotypes and different environments affect the sensory quality of the coffees and to compare the chemical composition (trigoneline, 5-ACQ and caffeine) of the grains to their sensory profile; ii) verify the presence of more promising genotypes for production of specialty coffees in three different environments, as well as verify the effect of the interaction of these factors on the organic acid and sucrose composition; iii) investigate the relationship between fatty acid composition and the sensory profile of different Bourbon genotypes grown under different edaphic and climatic conditions. Four Arabica coffee genotypes were evaluated, one of them being widely grown in Brazil (Mundo Novo) and three belonging to the Bourbon cultivar group. The four genotypes under study were evaluated in a field experiment in the south of the state of Minas Gerais and in the region of Mogiana in the state of São Paulo, including the municipalities of Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG and São Sebastião da Grama, SP. The experiments were set up in a randomized block experimental design (RBD), with three replications in the field and plots consisting of ten plants. It was concluded that: i) São Sebastião da Grama was the most promising environment for production of specialty coffees. The genotypes Yellow Bourbon IAC J9 and Yellow Bourbon /SSP origin were most indicated for production of specialty coffees. Regardless of the growing environment, the genotype Yellow Bourbon /CM origin is not indicated for production of specialty coffees. The caffeine content allowed discrimination of coffees in regard to quality of the beverage; ii) The sucrose and oxalic acid content were good discriminators of the quality of specialty coffees. Higher quality coffees have greater sucrose contents and lower oxalic acid contents, and iii) The arachidic, stearic and palmitic saturated fatty acids are possible discriminators of specialty coffee quality. The unsaturated elaidic, oleic, linoleic and linolenic fatty acids were related to coffees with less intense acidity, fragrance, body and flavor.

Keywords: *Coffea arabica* L. Sensory analysis. Chemical compounds. Quality. Bourbon. Environment.

SUMÁRIO

PARTE 1 - INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO.....	09
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Cafés especiais.....	11
2.2 Colheita e processamento do café.....	13
2.3 Genética e qualidade do café.....	14
2.4 Condições edafoclimáticas	18
2.5 Análise sensorial.....	21
2.6 Composição química do café.....	23
2.6.1 Carboidratos.....	23
2.6.2 Cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos	25
2.6.3 Ácidos graxos.....	29
2.6.4 Ácidos orgânicos	32
2.5 REFERÊNCIAS.....	33

PARTE 2 - ARTIGOS

ARTIGO 1

ANÁLISE SENSORIAL E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CAFÉS BOURBONS CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES.....	44
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

ARTIGO 2

ÁCIDOS ORGÂNICOS, SCAROSE E QUALIDADE DE CAFÉS ESPECIAIS	74
---------------------------------------------------------------------------	-----------

ARTIGO 3

COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS E QUALIDADE DE CAFÉS ESPECIAIS PRODUZIDOS NO BRASIL.....	101
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

PARTE 1 - INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A demanda por cafés especiais no mercado mundial vem crescendo em proporções muito maiores do que a por cafés comuns. A qualidade diferenciada dos cafés especiais está relacionada com a qualidade intrínseca do café, representando tudo aquilo que os grãos possuem em termos de compostos químicos que, após a torra, irão proporcionar aroma, sabor, acidez, doçura e amargor à bebida (GIOMO; BORÉM, 2011). Cada vez mais, os países produtores de café mostram interesse na compreensão dos fatores ambientais, genéticos e tecnológicos que afetam a qualidade (AVELINO et al., 2005).

De modo geral, qualquer cultivar de *Coffea arabica* tem potencial para a produção de cafés de alta qualidade. No entanto, tem-se verificado que sabores e aromas diferenciados ocorrem com mais frequência em algumas cultivares. A cultivar Bourbon tem qualidades intrínsecas mundialmente conhecidas, devido às suas características sensoriais, sendo utilizada para a produção de cafés especiais em diversas regiões do mundo. No entanto, diferentes genótipos são descritos como Bourbon, resultando na ocorrência de lavouras com características totalmente distintas entre si, mas assim e denominadas. Além das variabilidades fenotípica e agronômica, Figueiredo (2010) avaliou a interação entre genótipos Bourbon e diferentes ambientes e observou que existem grupos de genótipos de Bourbon mais adaptados para a produção de cafés de qualidade para cada ambiente.

O café é um produto cuja qualidade se expressa diferentemente em função do local de plantio. É um produto influenciado diretamente pelos aspectos ambientais, tanto os naturais quanto os humanos (ALVES et al., 2011;

AVELINO et al., 2005; CAMARGO, 2010; VILLARREAL et al., 2009; BERTRAND et al., 2006). No Brasil, existem inúmeras regiões produtoras de café que apresentam características edafoclimáticas diferentes e que são determinantes para o sabor e o aroma da bebida.

A associação dos fatores genéticos e ambientais influencia a composição química dos cafés, a qual afeta a qualidade do produto final. Desse modo, a qualidade e a aceitabilidade do café também estão diretamente relacionadas com a composição química dos grãos.

Em vários trabalhos, os autores buscaram correlacionar os níveis de alguns compostos químicos, tais como cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos, com a discriminação das espécies, a avaliação do grau de torração, a qualidade e as propriedades funcionais do café (BICCHI et al., 1995; CASAL; OLIVEIRA; FERREIRA, 2000; MAZZAFERA; CARVALHO, 1992). O conteúdo de ácidos orgânicos e de sacarose nos grãos de café tem sido quantificado por vários autores (ROGERS et al., 1999b; ALCÁZAR et al., 2003; JHAM et al., 2002; KY et al., 2001; CAMPA et al., 2004).

A discriminação de cafés de diferentes origens geográficas em relação ao conteúdo de ácidos graxos também tem sido relatada (JOET et al., 2010; BERTRAND et al., 2008). No entanto, não existem trabalhos que relacionem estes constituintes químicos com a qualidade sensorial de cafés Bourbons. Observa-se que, apesar do elevado potencial da cultivar Bourbon para a produção de cafés especiais, ainda existem dúvidas sobre a existência de um genótipo capaz de produzir cafés com alta qualidade, independentemente do ambiente. Por outro lado, acredita-se que seja possível encontrar genótipos de Bourbon aptos para a produção de cafés especiais em diferentes ambientes e que sua composição química pode ser utilizada como indicadora dessa aptidão.

Nesse contexto, é de extrema importância avaliar como a interação entre genótipos de Bourbon e diferentes ambientes afeta a qualidade sensorial dos

cafés, bem como verificar a ocorrência de genótipos mais promissores para a produção de cafés especiais em diferentes ambientes. Além disso, é importante buscar uma melhor compreensão das relações entre os compostos químicos dos grãos com as características sensoriais da bebida do café Bourbon.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafés especiais

O conceito de café especial está ligado ao prazer que a bebida pode proporcionar, por meio de algum atributo específico, processo de produção ou serviço a ele associado. Portanto, ele diferencia-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. 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 (SOUZA; SAES; OTANI, 2002; GIOMO; BORÉM, 2011).

Os cafés especiais caracterizam-se por não apresentar qualquer tipo de defeito sensorial, 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, 2003), além de apresentar qualidade diferenciada e elevado potencial de expressão de aroma e sabor.

Segundo a Associação Americana de Cafés Especiais – SCAA (2012), 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.

A qualidade intrínseca dos grãos de café, ou seja, sua constituição química, é que determinará a qualidade diferenciada de um café especial. Após a torra, os compostos químicos dos grãos resultarão na formação de sabores e aromas que caracterizarão a bebida. Portanto, 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).

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. Na verdade, suas características de sabor e métodos de produção os tornam produtos originais, o que 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. A demanda por cafés especiais no mercado mundial cresce em proporções muito maiores do que os cafés comuns. Diante disso, verifica-se a importância do incentivo à produção de cafés especiais para a agregação de valor ao café brasileiro.

A maior procura por esses cafés de qualidade explica por que países produtores de café estão mostrando interesse crescente em fatores ambientais e

técnicas locais que afetam a qualidade, ou seja, efeitos do *terroir* (AVELINO et al., 2005). Técnicas de cultivo, variedades, colheita e processamento pós-colheita desempenham importante papel 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 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.

Contudo, considera-se que o Brasil tenha condições favoráveis para aumentar a sua participação no mercado de cafés especiais, dada a diversidade de seu parque cafeeiro e o 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 Colheita e processamento do café

Segundo Borém e Renato (2006), o cafeeiro, por possuir mais de uma floração, caracteriza-se por apresentar, em uma mesma planta, ao longo de toda a colheita, frutos em diferentes estádios de maturação.

No decorrer do desenvolvimento e da maturação dos frutos do cafeeiro, os teores dos constituintes químicos sofrem grandes variações, até atingir níveis ideais, característicos do fruto maduro. O estágio cereja é o ponto ideal de maturação para a colheita e refere-se ao momento em que o fruto apresenta composição química plenamente desenvolvida e equilibrada, com o máximo potencial de expressão de qualidade de bebida.

Historicamente, dois diferentes métodos são utilizados para o processamento do café: a via seca, em que se processam os frutos na sua forma intacta (sementes + endocarpo + mesocarpo + exocarpo), produzindo frutos secos, conhecidos como café em coco ou café natural e a via úmida, em que se produzem os cafés em pergaminho, denominados despulpados, desmucilados e descascados, quando submetidos à remoção de mucilagem por fermentação, por desmucilador mecânico e sem remoção de mucilagem, respectivamente.

Em ambos os processos, o principal objetivo é secar o café rapidamente, removendo-se a água dos grãos até níveis seguros para o seu adequado beneficiamento e armazenamento, que é de cerca de 11% (bu) (BORÉM, 2008). No Brasil, na Etiópia e no Iêmen predomina o processamento por via seca para o café arábica, enquanto a via úmida é a forma de preparo predominante do café arábica nos demais países produtores (VINCENT, 1987; BRANDO, 2004). Segundo Illy e Viani (1995), cafés obtidos a partir das diferentes formas de processamento apresentam características distintas na qualidade final e na bebida.

2.3 Genética e qualidade do café

O cafeeiro pertence ao gênero *Coffea* que, juntamente com o gênero *Psilanthus*, forma a subtribo *Coffeinae*, família *Rubiaceae*, a qual inclui mais de 500 gêneros e em torno de 8.000 espécies. O gênero *Coffea* inclui pelo menos

105 espécies, das quais apenas duas são economicamente mais importantes, a *Coffea arabica* L., conhecida como café arábica, que responde por cerca de 75% da produção mundial e *Coffea canephora* Pierre, comumente descrita como café robusta, que contribui com cerca de 25%. A espécie *C. arabica* é a que apresenta melhor qualidade de bebida, sendo considerada capaz de produzir cafés com bebidas aromáticas e saborosas, enquanto a *C. canephora* apresenta bebida neutra e maior teor de sólidos solúveis, sendo muito utilizada na composição de blends.

Bebidas de qualidade inferior são consideradas anormalidades para a espécie *C. Arabica*, podendo estar associadas a alguma falha nos processos de colheita e/ou pós-colheita do café ou a adversidades ambientais que impedem a expressão plena do potencial genético das cultivares (GIOMO; BORÉM, 2011). As principais diferenças de sabor entre genótipos de *C. arabica* devem-se às diferenças na constituição genética das plantas, a qual determina a manifestação de precursores de sabor e aroma distintos entre diferentes genótipos (MEDINA FILHO, 2007).

O cultivo do café arábica no Brasil foi iniciado com a introdução, em 1727, das primeiras mudas e sementes de *Coffea arabica* trazidas da Guiana. A partir daí, vários cruzamentos foram acontecendo naturalmente e por meio de programas de melhoramento, dando origem a um grande número de cultivares de café no Brasil.

Existem vários componentes que podem ser discutidos em relação à qualidade, tais como aspectos sensoriais, químicos, sistemas de cultivo, etc. Todos, entretanto, se inserem na regra geral da genética e do melhoramento de plantas, cuja característica final (fenótipo) depende da constituição genética ou genótipo, das condições ambientais a que esse genótipo está submetido e da interação entre eles (LEROY et al., 2006; PEREIRA; CHALFOUN; CARVALHO, 2010). Segundo Alpizar e Bertrand (2004), o fator genético, as

condições ambientais e os procedimentos na colheita e pós-colheita são os elementos mais importantes na determinação da qualidade do café.

Quando uma cultivar apresenta predisposição genética para manifestar sabores e aromas distintos, melhor qualidade de bebida poderá ser obtida em diversos ambientes, independentemente da forma de processamento. Nesse caso, o fator genético pode predominar sobre os demais e, ainda que ocorram variações na intensidade dos atributos sensoriais, a cultivar continuará sendo reconhecida pelo seu sabor e aroma característicos, inerentes à sua própria constituição genética (GIOMO; BORÉM, 2011).

Nos programas clássicos de melhoramento genético do cafeeiro, as diferenças entre cultivares e linhagens referem-se apenas às características vegetativas e de produção. No entanto, torna-se indispensável conhecer também a qualidade de diferentes cultivares e linhagens, avaliando a composição química e a qualidade sensorial dos grãos (CARVALHO et al., 2011). No Brasil, é comum o uso intensivo de poucas cultivares, geralmente mais produtivas, o que leva à produção de cafés muito semelhantes em relação ao sabor e ao aroma. Portanto, um incentivo ao estudo de cultivares pouco exploradas se faz necessário, visando à busca por novos perfis sensoriais e, sobretudo, uma valorização dos cafés do Brasil.

Dentre as inúmeras cultivares de café arábica disponíveis no Brasil destacam-se algumas mais antigas, como ‘Típica’, ‘Bourbon’ e ‘Caturra’, menos produtivas, porém, reconhecidas por produzir cafés de qualidade, e ‘Catuaí’ e ‘Mundo Novo’, amplamente cultivadas, principalmente em virtude da alta produtividade, respondendo por cerca de 90% da produção brasileira.

Embora qualquer cultivar de *C. arabica* tenha potencial para produzir de cafés de alta qualidade, tem-se verificado que sabores e aromas diferenciados ocorrem com elevada frequência nas cultivares de Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho (FIGUEIREDO, 2010; GIOMO; BORÉM, 2011).

A cultivar Bourbon Vermelho é originária ilha Reunion e foi introduzida no Brasil em 1859, em Resende, RJ, no intuito de aumentar a produtividade, pois havia informações de que era de boa qualidade e mais produtiva que a cultivar Típica, introduzida no Brasil em 1727 (TAUNAY, 1939). Por volta de 1875, foi plantada no estado de São Paulo, na região de Cravinhos e Ribeirão Preto.

Em 1930, foram encontradas, no estado de São Paulo, algumas plantas de ‘Bourbon’ com frutos amarelos, um provável híbrido natural entre ‘Bourbon Vermelho’ e ‘Amarelo de Botucatu’ (CARVALHO et al., 1957). Em 1932, no Instituto Agrônomo (IAC), teve início um plano bastante amplo de melhoramento genético do cafeeiro e, em experimento com diversas cultivares de café arábica, verificou-se que a ‘Bourbon Amarelo’ era uma das mais produtivas, seguida de ‘Bourbon Vermelho’, as quais foram selecionadas para estudo de suas progênies (MENDES, 1951).

Como resultado do melhoramento genético, foram obtidas as linhagens IAC 662, de ‘Bourbon Vermelho’ e IAC J2, IAC J9, IAC J10, IAC J19, IAC J20, IAC J22 e IAC J24, de ‘Bourbon Amarelo’. As plantas de ‘Bourbon’ são altamente suscetíveis à ferrugem, têm porte médio/alto, frutos vermelhos ou amarelos, maturação precoce e sementes com peneira média 16. Têm excelente qualidade de bebida, sendo indicada para plantio em regiões acima de 1.000 m, para a produção de cafés especiais (GUERREIRO FILHO; FAZUOLI; AGUIAR, 2006).

A cultivar Bourbon é considerada, atualmente, a que possui, no âmbito nacional, o maior potencial para a produção de cafés especiais, despertando o interesse de produtores brasileiros por novas seleções dela, devido ao seu sabor adocicado e ao aroma peculiar que confere à bebida (VALOR ECONÔMICO, 2007).

A grande variação entre as cultivares e linhagens de ‘Bourbon’ no Brasil e a crescente demanda para plantio reforçam a necessidade imediata de estudos físico-químicos, bioquímicos e sensoriais, visando à identificação de materiais genéticos com elevado potencial para a produção de cafés especiais. Figueiredo (2010) avaliou diferentes genótipos de café arábica cultivados em diferentes ambientes, identificando grupo de genótipos mais promissores para a produção de cafés especiais em cada ambiente. Os genótipos de ‘Bourbon’ avaliados pelo mesmo autor se destacaram em relação aos demais quanto à qualidade de bebida, confirmando o seu elevado potencial para a produção de cafés especiais.

2.4 Condições edafoclimáticas

As condições geográficas para a produção do café arábica de qualidade são representadas por regiões de altitude elevada e solo fértil, ou seja, terras localizadas ao redor da zona equatorial, entre os limites de 25° norte e 30° sul. São regiões tropicais onde, durante o dia, as temperaturas são elevadas e, à noite, faz frio. No mundo existem inúmeras regiões produtoras de café que apresentam características edafoclimáticas diferentes e que são determinantes para o sabor da bebida (NATIONAL COFFEE ASSOCIATION, 2007).

O café é um produto cuja qualidade se expressa diferentemente em função do local de plantio. É essencialmente um produto de *terroir*, ou seja, influenciado diretamente pelos aspectos ambientais, tanto os naturais quanto os humanos (ALVES et al., 2011).

A produção de café arábica no Brasil estende-se no sentido norte-sul, desde 12° até 24° de latitude sul, o que representa, aproximadamente, 1.200 km em linha reta, mesclando diversos ambientes (ALVES et al., 2011), concentrando-se no estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e parte do Espírito Santo. Essa ampla variedade de solos e climas, associada a diferentes sistemas

de manejo da lavoura e de procedimentos na colheita e pós-colheita do café, faz com que o Brasil tenha uma diversidade imensa de sabores e aromas de café. Segundo Carvalho et al. (2011), com a evolução da cafeicultura e a demanda por materiais adaptados às diferentes condições climáticas, um grande número de cultivares vem sendo desenvolvido para alcançar tais objetivos.

Minas Gerais é o maior produtor nacional de café, sendo responsável por, aproximadamente, 50% da safra brasileira. Em virtude da amplitude das regiões de cultivo de Minas Gerais (Sul de Minas, Triângulo Mineiro, Zona da Mata e Vale do Jequitinhonha) e da diversidade genética dos materiais cultivados, a interação entre genótipo e ambiente é bastante complexa, afetando diretamente a qualidade do café.

Sabendo das diferenças qualitativas dos cafés de diferentes regiões cafeeiras de Minas Gerais, Chagas, Malta e Pereira (2005) avaliaram o potencial da região sul do estado para a produção de cafés especiais. De acordo com os resultados das análises físico-químicas dos grãos crus de vários municípios estudados, esta região apresenta características desejáveis para a produção de cafés de qualidade superior. O que vem sendo confirmado em trabalhos recentes (FIGUEIREDO, 2010; FERREIRA et al., 2012).

No estado de São Paulo, uma das mais tradicionais regiões produtoras de café é a Mogiana, localizada ao norte. Segundo Martins, Camargo e Bataglia (2005), os cafés produzidos nesta região são classificados, em sua maioria, como de bebida mole, em virtude de características ambientais, como temperaturas amenas e acentuada deficiência hídrica no período de colheita.

Segundo Malta e Chagas (2009), diferentes genótipos de cafeeiro podem apresentar diferenças na qualidade e a interação entre genótipo e ambiente também pode provocar diferenças na composição química e qualidade do café.

Recentemente, um estudo relacionando as principais variáveis climáticas (temperatura, precipitação, irradiância e evapotranspiração potencial) e a

composição química de grãos crus de café foi realizado por Joet et al. (2010), que analisaram 16 parcelas de café arábica, localizadas na ilha Reunion, em altitudes que variaram de 150 a 1.032 m. Foram observadas variações em lipídeos, ácidos clorogênicos, cafeína e conteúdo de açúcar. Os resultados foram contraditórios, demonstrando a complexidade de se encontrar relações consistentes entre variáveis edafoclimáticas, constituintes bioquímicos e melhoria do aroma e do sabor da bebida do café.

Visto que o ambiente onde é cultivado representa um fator determinante na definição da qualidade, tem-se observado uma procura crescente por regiões aptas para a produção de café de qualidade superior e também a adoção de estratégias para a determinação da origem. Trabalhos buscam desenvolver métodos apropriados para a determinação da origem de cafés (BERTRAND et al., 2008; VILLARREAL et al., 2009), bem como determinar compostos químicos capazes de discriminar ambientes (BERTRAND et al., 2008; JOET et al., 2010; AVELINO et al., 2005; ANDERSON; SMITH, 2002).

Avelino et al. (2005) discriminaram os ambientes Santa Maria de Dota e Orosi (Costa Rica), por meio da quantificação de cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos e sacarose. A composição de ácidos clorogênicos e, principalmente, de ácidos graxos possibilitou a discriminação dos ambientes Naranjal, Paraguaicito e Rosario, localizados na Colômbia (BERTRAND et al., 2008). Tais resultados confirmam o uso potencial de alguns compostos químicos na determinação da origem de cafés.

2.5 Análise sensorial

A avaliação sensorial tem diversas aplicações, entre elas o controle e a garantia da qualidade, o desenvolvimento de novos produtos e a melhoria de

alimentos disponíveis no mercado (ALMEIDA, 1996; COSTELL; DURAN, 1981).

A avaliação sensorial do café 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, 2003) 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, 2003). Contudo, não há um critério uniforme ou padronização de procedimentos para a sua realização, especialmente com relação à torra 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 aquela proposta por Lingle (2011) e adotada pela SCAA, que considera como especiais aqueles que apresentam nota final igual ou acima de 80 pontos. 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 onde exista 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, 2010).

2.6 Composição química do café

2.6.1 Carboidratos

O termo carboidrato sugere uma composição elementar geral, a saber $C_x(H_2O)_y$, a qual representa moléculas que contêm átomos de carbono junto a átomos de hidrogênio e oxigênio, na mesma proporção em que ocorrem na água (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A importância da fração de carboidratos no café é evidente e o seu alto conteúdo constitui metade do peso seco dos grãos crus de café. Carboidratos de baixo e alto peso molecular estão presentes nos grãos crus de café e ambos participam de várias reações químicas associadas com o processo de torra (BRADBURY, 2001).

Os açúcares livres predominantes nos grãos de café são basicamente frutose, glicose e sacarose (ROGERS et al., 1999a), porém, traços de outros açúcares, como estaquiose, rafinose, arabinose, manose, galactose, ribose e ramnose, também são encontrados. A sacarose representa quase o total dos açúcares livres nos grãos maduros de café, porém, o teor pode variar entre espécies. Em *C. arabica*, o teor de sacarose na matéria seca pode variar entre 5,1% e 9,4%, no grão, enquanto em *C. canephora*, o teor é bem abaixo disso, ficando entre 4% e 7% (CLIFFORD, 1985; KY et al., 2001; CAMPA et al., 2004; BRADBURY, 2001).

Em grãos crus de café praticamente não se detecta amido e há alto teor de polissacarídeos associados à parede celular (WOLFROM; PLUNKETT; LAVER, 1960). Os polissacarídeos encontrados nos grãos crus de café são, principalmente, os galactomananos, que correspondem a 50% dos polissacarídeos, sendo o restante arabinogalactanos, celulose e pectinas, com 30%, 15% e 5%, respectivamente. Embora as composições de polissacarídeos de grãos de *C. arabica* e *C.canephora* sejam parecidas, pequenas diferenças são percebidas nas quantidades relativas de galactomanano e arabinogalactano, presentes nas duas espécies (REDGWELL et al., 2003).

A sacarose é um dos compostos no grão de café cru que têm sido investigados como um importante precursor de sabor e de aroma de café porque, durante a torra, a sacarose é rapidamente degradada, sendo seu conteúdo vestigial num café com torra média. De acordo com Trugo e Macrae (1984), as perdas chegam a 98%. Os açúcares redutores resultantes da sua hidrólise, glucose e frutose, são também rapidamente degradados. Estes e outros produtos primários de degradação reagem, em seguida, de diferentes formas: i) por fragmentação, originando ácidos (dentre os quais se destacam os ácidos orgânicos voláteis), aldeídos, cetonas e ésteres; ii) por caramelização, formando inúmeros compostos heterocíclicos, tal como os hidroximetilfurfural, vários dos quais importantes para o aroma e iii) por interação com aminoácidos e proteínas originando produtos da reação de Maillard, que podem ser poliméricos (melanoidinas) ou de baixo peso molecular. Esses últimos são importantes contribuintes para o *flavour* do café, assim como os compostos voláteis do aroma e os compostos não voláteis do sabor. Os produtos da reação de Maillard também são responsáveis pela coloração marrom dos produtos (GINZ et al., 2000; BRADBURY, 2001; GROSCH, 2001; HOMMA, 2001).

O conteúdo de sacarose em café comercial pode ser altamente influenciado por espécies de café, variedade, origem geográfica e condições de

torração (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; OOSTERVELD; VORAGEN; SCHOLS, 2003; TRUGO; MACRAE, 1984). Salva (2007), avaliando a composição química e a qualidade da bebida de cafés em função do método de preparo e da cultivar, encontrou diferentes teores de sacarose entre as variedades, mas o mesmo não foi observado em cafés submetidos a diferentes métodos de processamento.

2.6.2 Cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos

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.

O conteúdo de cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos 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 (MOREIRA; TRUGO; DE MARIA, 2000; BERTRAND et al., 2008 DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010). Os níveis desses compostos em grãos de café 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; CASAL; OLIVEIRA; FERREIRA, 2000; MAZZAFERA; CARVALHO, 1992).

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

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; DE MARIA, 2000). Estes ácidos são conhecidos por serem responsáveis pela pigmentação, a formação do aroma e a adstringência do café (TRUGO; MACRAE, 1984; DE MARIA et al., 1995).

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 processado (MOREIRA; TRUGO; DE 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, 1995). Valores médios de cafeína entre 0,62% e 1,82% foram relatados por Ky et al. (2001) e Mazzafera e Carvalho (1992), 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 (FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006). 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 (MAZZAFERA, 1991; VITORINO et al., 2001; NOGUEIRA; TRUGO, 2003; AGUIAR et al., 2005). De acordo com Viani e Horman (1975), 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* (DE MARIA; MOREIRA; TRUGO, 1999). No entanto, 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.

2.6.3 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%. Os cafés canéfora, geralmente, têm menores teores, quando comparado aos 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 comuns 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 lípidios 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 (MARTÍN et al., 2001; RUI ALVES et al., 2003), esteróis

(CARRERA et al., 1998), triacilgliceróis (GONZÁLEZ et al., 2001), tocoferóis (GONZÁLEZ et al., 2001) e ésteres de diterpeno (SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006; RUBAYIZA; MEURENS, 2005), analisados por métodos cromatográficos (MARTÍN et al., 2001; RUI ALVES et al., 2003; CARRERA et al., 1998; GONZÁLEZ et al., 2001; 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; LERCKER et al., 1996; MURATORE et al., 1998; JOET et al., 2010). 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; MOUNTS; ABIDI; RENNICK, 1996; MARTÍN et al., 2001; 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. Tal 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). A influência das condições climáticas durante o desenvolvimento de sementes, especialmente temperatura e, em menor extensão, precipitação, na composição final dos ácidos graxos tem sido relatada em muitas oleaginosas (BYFIELD; UPCHURCH, 2007; FOFANA et al., 2006).

Rui Alves et al. (2003) analisaram vinte e quatro amostras de café 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 um marcador de uma variedade de café e pode informar sobre o histórico do café, principalmente em relação às condições de torra do café.

Em vários trabalhos têm sido identificados e quantificados os principais ácidos graxos existentes nos grãos crus de café (NIKOLOVA-DAMYANOVA; VELIKOVA; JHAM, 1998; ALVES et al., 2003; BERTRAND et al., 2008; JOET et al., 2010). No entanto, estudos que visem correlacionar o perfil desses graxos com a qualidade de bebida dos cafés ainda não foram desenvolvidos.

2.6.4 Ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos são caracterizados por possuírem átomos de carbono. Destes, o maior grupo é o dos ácidos carboxílicos, que são os ácidos caracterizados pela presença do grupo funcional (COOH), a carboxila (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Os ácidos carboxílicos têm propriedades organolépticas importantes, tanto que 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 contribuem 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 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.

ALCÁZAR, A. et al. Ion chromatographic determination of some organic acids, chloride and phosphate in coffee and tea. **Talanta**, Londres, v. 61, n. 2, p. 95–101, Oct. 2003.

ALMEIDA, T. C. A. **Análise sensorial: efeitos da memória**. 1996. 121p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 20. , 2004, Bangalore. **Proceeding...** Bangalore: Asic, 2004. CD-ROM.

ALVES, H. M. R. et al. Características ambientais e qualidade da bebida 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.

ANDERSON, K. A.; SMITH, B. W. Chemical profiling to differentiate geographic growing origins of coffee. **Journal of Agricultural and food Chemistry**, Washington, v. 50, p. 2068-2075, 2002.

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, 2007.

AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitudeterroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, 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.

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. Processamento do café. In: _____. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R. Qualidade do café despolpado submetido a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 9, p. 25-31, 2006. Especial Café.

BRADBURY, A. G. W. Chemistry I: non-volatile compounds, Part 1A: carbohydrates. In: CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. (Ed.). **Coffee recent developments**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 1-17.

BRANDO, C. H. J. Harvesting and green coffee processing. In: WINTGENS, J. N. (Ed.). **Coffee: growing, processing, sustainable production**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2004. p. 605-714.

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

BYFIELD, G. E.; UPCHURCH, R. G. Effect of temperature on delta-9 stearyl-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.

CAMPA, C. et al. Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species. **Food Chemistry**, London, v. 88, n. 1, p. 39-44, Nov. 2004.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

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. et al. Melhoramento do cafeeiro: XIII. café bourbon amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 28, p. 411-454, 1957. Volume Único.

CARVALHO, G. R. C. et al. Melhoramento genético do café visando à qualidade de bebida. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 30-38, 2011.

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.

CHAGAS, S. J. de R.; MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Potencial da região sul de Minas Gerais para a produção de cafés especiais – (I: atividade da polifenoloxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 590-597, maio/jun. 2005.

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.

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. 900 p.

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

DE 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.

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

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.

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

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.

- 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.
- FERREIRA, A. D. et al. Análise sensorial de diferentes genótipos de cafeeiros Bourbon. **Interciencia**, v. 37, n.5, p. 390-394, May. 2012.
- FIGUEIREDO, L. P. **Perfil sensorial e químico de genótipos de cafeeiro Bourbon de diferentes origens geográficas**. 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- 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.
- 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.

GROSCH, W. Volatile compounds. In: CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. (Ed.). **Coffee: recent developments**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 68-89.

GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; AGUIAR, A. T. E. Cultivares de *Coffea arabica* selecionadas pelo IAC: características botânicas, tecnológicas, agrônomicas e descritores mínimos. **O Agrônomo**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 34-37, 2006.

HOMMA, S. Chemistry II: Non-volatile compounds: carbohydrates. In: CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. (Ed.). **Coffee recent developments**. Oxford: Blackwell Science, 2001. p. 1-17.

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

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.

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.

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

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 223, n. 2, p. 195-201, 2006.

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

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.

LEROY, T. et al. Genetics of coffee quality. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Piracicaba, v.18, p. 229-242, jan./mar. 2006.

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.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. Avaliação de compostos não voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

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

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

MARTINS, D. R.; CAMARGO, O. A. de; BATAGLIA, O. C. Qualidade dos grãos e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 115-126, 2005.

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

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

MEDINA FILHO, H. P. A. A qualidade do café e o melhoramento genético clássico. In: SALVA, T. J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade**: aspectos tecnológicos científicos e comerciais. Campinas: IAC, 2007. p. 219-236.

MENDES, J. E. T. Ensaio de variedades de cafeeiros: III. **Bragantia**, Campinas, v. 11, n. 1-3, p. 29-43, mar. 1951.

MOREIRA, R. F. A.; TRUGO, L. C.; DE 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, 2000.

MOUNTS, T. L.; ABIDI, S. L.; RENNICK, K. A. Effect of genetic modification on the content and composition of bioactive constituents in soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 73, n. 5, p. 581-586, 1996.

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

MURKOVIC, M. et al. Variability of fatty acid content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo L.*). **Lebensm Unters Forsch**, v. 203, n. 3, p. 216-219, Sept. 1996.

NATIONAL COFFEE ASSOCIATION. **All about coffee**. 2007. Disponível em: <<http://www.ncausa.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=30>>. Acesso em: 28 dez. 2009.

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.

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, 2003.

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.

OOSTERVELD, A.; VORAGEN, A. G.; SCHOLS, H. A. Effect of roasting on the carbohydrate composition of *Coffea arabica* beans. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 54, n. 2, p. 183-192, Nov. 2003.

PASCOAL, L. N. **Aroma de café: guia prático para apreciadores de café**. São Paulo: Fundação Educar-DPaschoal, 1999. 159 p.

PEREIRA, S. P.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. **Cafés especiais: iniciativas brasileiras e tendências de consumo**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2004. 80 p. (EPAMIG. Série Documentos, 41).

PEREIRA, M. C.; CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, G. R. de. Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea arabica L.*) in the

region of upper Paranaíba. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, p. 635–641, 2010.

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

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.

REDGWELL, R. J. et al. Changes to the galactose/mannose ratio in galactomannans during coffee bean (*Coffea arabica* L.) development: implications for in vivo modification of galactomannan synthesis. **Planta**, Berlin, v. 217, n. 2, p. 316-326, Mar. 2003.

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.

ROGERS, W. J. et al. Biochemical and molecular characterization and expression of the 11S-type storage protein from *Coffea arabica* endosperm. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 37, n. 4, p. 261-272, Apr. 1999a.

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. 1999b.

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, 2003.

SALVA, T. DE J. G. A composição química dos grãos e a qualidade da bebida de café, em consequência do método de preparo e da cultivar. In: SALVA, T. de J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 255-280.

SCHMIDT, C. A. P.; MIGLIORANZA, E. Análise sensorial e o café: uma revisão the sensory analysis and the coffee: an revision. **Revista Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 1, p. 16-24, 2010.

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

SOUZA, M. C. M.; SAES, M. S. M.; OTANI, M. N. Pequenos agricultores familiares e sua inserção no mercado de cafés especiais: uma abordagem preliminar. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 32, n. 11, p. 16-26, 2002.

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. 2012.

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.

TAUNAY, A. de E. **História do café no Brasil: no Brasil Imperial 1822-1972**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional do Café, 1939. v. 3.

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

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

VALOR econômico. **Produtores saem em busca do café ideal: estão ressuscitando o Bourbon amarelo**. 2007. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=11657>>. Acesso em: 30 jul. 2007.

VIANI, R.; HORMAN, I. Determination of trigonelline in Coffee. In: ASSOCIATION SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE DU CAFÉ, 5., 1975, Hamburg. **Anais...** Paris: Asic, 1975. p. 273-275.

VILLARREAL, D. et. al. Genotypic and environmental effects on coffee (*Coffea arabica* L.) bean fatty acid profile: impact on variety and origin

chemometric determination. **Journal of agricultural and food chemistry**. Washington, v. 57, n. 23, p. 11321-11327, 2009.

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

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

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: 17TH INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON THE CHEMISTRY OF COFFEE, 92-9., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: ASIC, 1997.

WOLFROM, M. L.; PLUNKETT, R. A.; LAVER, M. L. Carbohydrates of coffee bean. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. London, v. 8, p. 58-65, 1960.

PARTE 2 - ARTIGOS

ARTIGO 1

**ANÁLISE SENSORIAL E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CAFÉS
'BOURBON' CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES**

Versão preliminar de artigo – Sujeito a alterações pelo corpo editorial da revista.

Revista: *Food Science and Technology International* (IF: 0,68)

AUTORES

RESUMO

Diante da crescente participação e valorização dos cafés especiais no mercado internacional, associadas à qualidade intrínseca da cultivar Bourbon para a produção de cafés diferenciados e à diversidade ambiental do Brasil, realizou-se o presente trabalho, com o objetivo de avaliar como a interação entre genótipos de 'Bourbon' e diferentes ambientes afetam a qualidade sensorial dos cafés, bem como relacionar a composição química (trigonelina, 5-ACQ e cafeína) dos grãos com a sua expressão sensorial. Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao grupo da cultivar Bourbon. Os genótipos foram avaliados na forma de experimento em campo, nos municípios de Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Grama, SP. Este último foi o ambiente mais promissor para a produção de cafés especiais. Os genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 e Bourbon Amarelo/ Origem SSP foram os mais indicados para a produção de cafés de especiais. Independente do ambiente de cultivo, o genótipo Bourbon Amarelo / origem CM não é indicado para a produção de cafés especiais. O conteúdo de cafeína possibilitou a discriminação de cafés quanto à qualidade de bebida. Cafés com qualidade superior têm menores teores de cafeína. O conteúdo de 5-ACQ permitiu discriminar ambientes.

Palavras-chave: Cafés Especiais. Genótipos. Bourbon Amarelo. Escalonamento multidimensional.

INTRODUÇÃO

Embora o segmento de café commodity represente a maior parcela de todo café exportado mundialmente, o segmento de cafés especiais tem alcançado grande destaque no mercado internacional. A participação crescente desse segmento justifica diversos incentivos na melhoria da qualidade tanto nas práticas agrícolas como nas pesquisas e inovações tecnológicas. Cada vez mais, os países produtores de café mostram interesse na compreensão dos fatores ambientais, genéticos e tecnológicos que afetam a qualidade (AVELINO et al., 2005). O Brasil, tradicionalmente conhecido como fornecedor de grandes quantidades de cafés comuns e de baixo preço, tem condições favoráveis para aumentar sua participação no mercado de cafés especiais, dados a diversidade de seu parque cafeeiro e o elevado nível tecnológico da cafeicultura (GIOMO; BORÉM, 2011).

De modo geral, qualquer cultivar de *Coffea arabica* tem potencial para a produção de cafés de alta qualidade. No entanto, tem-se verificado que sabores e aromas diferenciados ocorrem com mais frequência em algumas cultivares. A cultivar Bourbon tem qualidades intrínsecas mundialmente conhecidas, devido às suas características sensoriais. É utilizada para a produção de cafés especiais em diversas regiões do mundo. No entanto, diferentes genótipos são descritos como Bourbon, resultando na ocorrência de lavouras com características totalmente distintas entre si e denominadas como Bourbon. Além das variabilidades fenotípica e agronômica, Figueiredo (2010) avaliou a interação entre genótipos Bourbon e diferentes ambientes e observou que existem genótipos de Bourbon mais adaptados para a produção de cafés de qualidade para cada ambiente.

O café é um produto cuja qualidade se expressa diferentemente em função do local de plantio. É influenciado diretamente pelos aspectos

ambientais, tanto os naturais quanto os humanos (ALVES et al., 2011; AVELINO et al., 2005; CAMARGO, 2010; VILLARREAL et al., 2009; BERTRAND et al., 2006). No Brasil existem inúmeras regiões produtoras de café que apresentam características edafoclimáticas diferentes e que são determinantes para o sabor e aroma da bebida.

Vários trabalhos foram realizados com o objetivo de correlacionar os níveis de alguns compostos químicos, tais como cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos, com a discriminação das espécies, a avaliação do grau de torração, a qualidade e as propriedades funcionais do café (BICCHI et al., 1995; CASAL; OLIVEIRA; FERREIRA, 2000; MAZZAFERA; CARVALHO, 1992). Em outros trabalhos, buscou-se relacionar esses compostos químicos como potenciais descritores da expressão da qualidade de genótipos de café em diferentes ambientes. Avelino et al. (2005) discriminaram os ambientes Santa Maria de Dota e Orosi, na Costa Rica, por meio da quantificação dos compostos químicos cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos e sacarose, justificando as diferenças sensoriais observadas entre esses cafés. A composição de ácidos clorogênicos e, principalmente, de ácidos graxos possibilitou a discriminação dos ambientes Naranjal, Paraguaicito e Rosario, localizados na Colômbia (BERTRAND et al., 2008). No entanto, não existem trabalhos que tenham estudado as relações entre diferentes genótipos de Bourbon com o ambiente de produção e sua expressão na qualidade sensorial e na composição química.

Observa-se que, apesar do elevado potencial da cultivar Bourbon para a produção de cafés especiais, ainda não está bem compreendido se existe um genótipo capaz de produzir cafés com alta qualidade, independentemente do ambiente. Por outro lado, acredita-se que é possível encontrar um ou mais genótipos de Bourbon aptos para a produção de cafés especiais em diferentes ambientes e que sua composição química pode ser utilizada como indicador dessa aptidão.

Nesse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar como a interação entre genótipos de Bourbon e diferentes ambientes afeta a qualidade sensorial dos cafés, bem como relacionar a composição química dos grãos com a sua qualidade sensorial.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados quatro genótipos de café arábica (*Coffea arabica* L.), sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao grupo da cultivar Bourbon (Tabela 1). Os dados do presente trabalho referem-se às colheitas de três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011).

Baseados nos resultados obtidos por Figueiredo (2010) e dados preliminares do presente trabalho, os genótipos estudados foram selecionados a partir de um grupo de 14 genótipos que incluíam 11 genótipos de Bourbon e 3 cultivares comerciais.

A escolha dos genótipos foi realizada visando à redução no número de observações e, com isso, maior controle e compreensão dos fenômenos estudados. O critério utilizado na escolha foram as notas sensoriais médias obtidas nos anos de 2009 e 2010. Foram escolhidos três genótipos de Bourbon e uma cultivar comercial (testemunha). Dentre os Bourbons, foi escolhido um genótipo que apresentou características de cafés especiais (notas acima de 81 pontos) em todos os ambientes estudados, um genótipo que apresentou notas abaixo de 80 pontos em todos os ambientes e um que apresentou nota variável nos diferentes ambientes.

Tabela 1 Genótipos de café arábica presentes no experimento em campo.

	Genótipo	Origem
1	Mundo Novo IAC 502/9	Epamig – Machado, MG
2	Bourbon Amarelo IAC J9	IAC – Campinas, SP
3	Bourbon Amarelo*	São Sebastião do Paraíso, MG
4	Bourbon Amarelo*	Carmo de Minas, MG

IAC – Instituto Agronômico de Campinas.

Epamig – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

Origem – refere-se à instituição, cidade e estado (Brasil) onde os genótipos foram coletados para serem utilizados nos experimentos cultivados em Lavras, São Sebastião da Grama e Santo Antônio do Amparo.

* Trata-se de cafeeiro declarado como Bourbon Amarelo, coletado em diferentes regiões produtoras do Brasil.

Os quatro genótipos estudados foram instalados na forma de experimento em campo desde 2005, no sul do estado de Minas Gerais e na região Mogiana do estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Grama, SP.

A região Mogiana, localizada no interior do estado de São Paulo, tem a Mata Atlântica como bioma predominante, com ocorrência de campos rupestres. O sul do estado de Minas Gerais é caracterizado por bioma de transição Cerrado-Mata Atlântica e com ocorrência de campos rupestres. Ambas as regiões destacam-se pela produção de cafés arábica em grande escala. As distintas condições edafoclimáticas dessas importantes regiões produtoras de cafés do Brasil foram representadas e suas principais características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Região geográfica, variáveis climáticas e caracterização dos três ambientes estudados.

Município	Lavras	São Sebastião da Grama	Santo Antônio do Amparo
Região	Sul de Minas	Mogiana Paulista	Sul de Minas
Altitude	919 m	1300 m	1050 m
Temperatura média	20,4 °C	20 °C	19,9 °C
Precipitação média anual	1460 mm	1560 mm	1700 mm
Latitude	21°14'43"S	21°42'38"S	20°91'66"S
Longitude	44°59'59"O	46°49'15"O	44°95'51"O
Tipo de solo	Latossolo Vermelho textura argilosa	Latossolo Amarelo textura média	Latossolo Vermelho textura argilosa

Na Tabela 3 é apresentada a condificação dos genótipos e dos ambientes estudados, utilizada na discussão dos resultados.

Tabela 3 Genótipos e ambientes estudados e seus códigos.

Ambientes	Genótipos
A1 = Lavras	G1 = Mundo Novo IAC 502/9
A2 = São Sebastião da Grama	G2 = Bourbon Amarelo IAC J9
A3 = Santo Antônio do Amparo	G3 = Bourbon Amarelo / Origem SSP
	G4 = Bourbon Amarelo / Origem CM

Colheita e processamento do café

A colheita foi manual e seletiva quando a maioria dos frutos de cada parcela atingiu o estágio de maturação cereja. Posteriormente, procedeu-se à separação hidráulica dos frutos por diferença de densidade, em uma caixa d'água adaptada com uma peneira, garantindo completo isolamento dos materiais das diferentes parcelas.

A porção cereja, de maior densidade, foi separada da porção boia, de menor densidade. Embora tenha sido realizada a colheita seletiva dos frutos maduros, uma pequena porção de frutos imaturos ainda era encontrada na porção cereja.

Após a separação hidráulica, procedeu-se a uma nova seleção manual dos frutos, obtendo-se 20 L, garantindo-se a obtenção de amostras constituídas somente de frutos cereja. Em seguida, as amostras foram descascadas em descascador de amostras, obtendo-se o café cereja descascado (CD).

A secagem foi iniciada imediatamente após o processamento. As amostras de café foram secas em peneiras de 1 m² (moldura de madeira e tela com malha de 2,00 x 1,00 mm, fabricadas em fios de polietileno), dispostas sobre terreiro pavimentado. Foram distribuídos, uniformemente, 7 L de café descascado por peneira, revolvidos 20 vezes ao dia. Na primeira noite após a sua distribuição nas peneiras, o café foi mantido aberto e descoberto e, nas noites seguintes, foi coberto com pano. A espessura da camada, equivalente a 7 L.m⁻², foi mantida até o café atingir a meia seca, com teor de água de, aproximadamente, 25% (b.u). Em seguida, dobrou-se a espessura da camada de café. Tais procedimentos foram realizados até o café atingir teor de água de 11% (b.u). Todos os procedimentos de colheita e processamento foram realizados segundo Borém (2008).

Preparação das amostras

Após a secagem, as amostras foram embaladas em sacos de papel e revestidas com sacos de plástico, identificadas e armazenadas em câmara com temperatura controlada, a 18 °C, por um período de 60 dias. Em seguida, as amostras foram beneficiadas e os defeitos retirados, visando à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas ao material genético ou ao ambiente de cultivo. As análises químicas e a torração foram realizadas nos grãos retidos nas peneiras 16 e acima (16, 17 e 18/64 de polegada).

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 freezer, à temperatura de -80 °C, até a realização das análises.

Teor de água

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado em estufa, a 105±1 °C, por 16 horas ± 30 minutos, conforme o método padrão internacional da ISO 6673 (International Organization for Standardization – ISO, 1999).

Torração e avaliação sensorial

Todos os procedimentos foram realizados de acordo com os protocolos descritos pela Associação Americana de Cafés Especiais (Specialty Coffee Association of America, ou SCAA) (LINGLE, 2011). Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra, em torrador de laboratório Probat TP2 (Curitiba, Brasil),

no prazo máximo de 24 horas, antes da degustação. A torração foi interrompida quando o café atingiu torra média, determinada visualmente, utilizando-se um sistema de classificação de cor por meio de discos padronizados (SCAA/Agtron Roast Color Classification System; cor de referência nº65 para grãos moídos e 55 para grão inteiro). A temperatura e o tempo de torra foram monitorados por termômetros e cronômetros, respectivamente, respeitando-se a faixa de tempo de torra entre 8 e 12 minutos.

As amostras foram pesadas para uma relação pré-determinada de 8,25 g, por 150 ml de água e, em seguida, moídas em moinho de amostras Mahlkönig Guatemala (Hamburg, Alemanha). Dez atributos sensoriais foram avaliados por um painel de juízes treinados e anotados em uma escala de 10 pontos, de acordo com a SCAA (LINGLE, 2011).

Os atributos sensoriais incluídos foram fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global. A nota sensorial final foi gerada a partir do somatório dos atributos avaliados. Em cada avaliação, foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada genótipo, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições. Cada ambiente foi avaliado separadamente e os resultados da avaliação sensorial foram estabelecidos a partir de uma escala que representa os níveis de qualidade com intervalos de 0,25 pontos.

Além da nota final obtida na avaliação sensorial, os atributos fragrância, acidez, corpo e sabor também foram analisados estatisticamente, visando complementar a análise, considerando que são os principais atributos responsáveis pela distinção de diferentes perfis sensoriais do café.

Cafeína, trigonelina e ácido-5-cafeiolquínico (5-ACQ)

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 extrações foram feitas em duplicata, para cada uma das três repetições.

As concentrações de cafeína, trigonelina e 5-ACQ foram determinadas simultaneamente, utilizando-se cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE, HPLC). Para isso, o sistema operou com válvula de injeção Rheodyne (modelo 77251), com loop fixo de 20 µl e processador da marca Shimadzu. Foi utilizada coluna de fase reversa C18 Shim-pack CLC-ODS (M), da marca Shimadzu, (5 µm, 250 mm x 4,6 mm), com pré-coluna de 4 µm. A eluição foi isocrática com fase móvel composta por metanol:ácido acético:água (30:0,5:69,5;v:v:v), vazão de 1 ml/min, a 22 °C.

A concentração dos compostos foi determinada pela relação entre as áreas dos picos de cafeína, trigonelina e 5-ACQ da amostra e a dos respectivos padrões de concentrações conhecidas. Os teores finais de cafeína, trigonelina e 5-ACQ foram dados em porcentagem de matéria seca (% m.s).

Análise estatística

Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, em três ambientes de produção. Os três experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com três repetições em campo e parcelas constituídas por dez plantas.

Os resultados dos atributos sensoriais e compostos químicos analisados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando diferenças significativas no teste F foram detectadas, o teste de Scott-Knott foi aplicado, a 5% de significância, utilizando-se o programa SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

A representação geométrica multidimensional dos dados foi realizada por meio do escalonamento multidimensional (MDS), utilizando-se o software estatístico R (R CORE TEAM, 2012). Relações qualitativas ou quantitativas entre os dados correspondem às relações geométricas, nesta representação.

No MDS, cada objeto é representado por um ponto no espaço multidimensional e os pontos são organizados neste espaço, de forma que as distâncias entre pares de pontos representem a possível relação de semelhança entre os pares de objetos. Isto é, dois objetos semelhantes são representados por pontos próximos e objetos não semelhantes são representados por pontos distantes. Usa-se uma função de *stress* para medir a diferença entre a matriz de dissimilaridade original e a matriz de distância calculada. Quanto menor for o valor do *stress*, melhor é o ajuste da matriz de distância reproduzida à matriz de distância observada. O valor do *stress* pode ser medido como um coeficiente de correlação que mede a falta de ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química e qualidade sensorial: efeito dos genótipos e ambientes

Os valores médios dos atributos sensoriais, da nota sensorial final e dos compostos químicos em relação aos genótipos, ambientes e a interação entre genótipos e ambientes são apresentados na Tabela 4.

Os teores médios dos compostos químicos obtidos nos grãos crus de café no presente estudo estão de acordo com valores reportados em trabalhos anteriores para trigonelina (CAMPA et al., 2004; FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006; DUARTE et al., 2010), ácido 5-dicafeoilquínico (DUARTE et al., 2010, BERTRAND et al., 2008) e cafeína (KY et al., 2001; FRANCA et al., 2005; DUARTE et al., 2010).

Os compostos químicos analisados não apresentaram diferença significativa em relação aos genótipos, aos ambientes e a interação entre genótipo e ambiente (Tabela 4). O único composto que apresentou diferença significativa em relação aos genótipos foi a cafeína. O genótipo Bourbon Amarelo IACJ9 (G2) apresentou menor teor de cafeína, igual a 1,06% e diferiu dos demais genótipos.

Dessalegn et al. (2008) encontraram variabilidade no teor de cafeína de genótipos de café arábica, na Etiópia. Porém, as diferenças foram não significativas nos conteúdos de cafeína entre as duas regiões estudadas. Genótipos coletados no noroeste da Etiópia apresentaram teor de cafeína variando de 0,91%-1,32%, com média global de 1,09%, enquanto os do sudoeste variaram de 0,93% a 1,27%, com média global de 1,12%. No presente estudo também não foram encontradas diferenças significativas entre os teores de cafeína nos diferentes ambientes estudados (Lavras, São Sebastião da Grama e Santo Antônio do Amparo), estando os valores médios próximos aos encontrados por Dessalegn et al. (2008), em diferentes regiões da Etiópia.

Tabela 4 Avaliação sensorial e teores médios de 5-ACQ, trigonelina e cafeína de grãos de diferentes genótipos de café arábica e diferentes ambientes: média e probabilidade de significância (*F*) determinada por análise de variância (ANAVA) de três ambientes e 4 genótipos*.

genótipo/ambiente		fragrância	sabor	acidez	corpo	final	5-ACQ (%)	trigonelina (%)	cafeína (%)
G1		7,25a	7,11a	7,25a	7,37b	80,38a	4,30	0,88	1,14b
G2		7,60b	7,39b	7,38b	7,37b	81,61b	4,51	0,82	1,06a
G3		7,58b	7,44b	7,43b	7,33b	81,76b	4,63	0,86	1,11b
G4		7,26a	7,07a	7,15a	7,17a	79,87a	4,76	0,90	1,14b
<i>F</i>		0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,46	0,18	0,05
A1		7,36	7,20	7,22	7,24	80,59	4,36	0,85	1,13
A2		7,52	7,35	7,37	7,36	81,42	4,52	0,86	1,08
A3		7,38	7,22	7,32	7,33	80,70	4,75	0,88	1,12
<i>F</i>		0,11	0,20	0,07	0,12	0,12	0,31	0,68	0,11
A1	xG1	7,09a	6,95a	7,12a	7,25b	79,64a	4,10	0,87	1,17
	xG2	7,53b	7,25b	7,27b	7,31b	80,93b	4,35	0,84	1,10
	xG3	7,58b	7,51b	7,46b	7,36b	81,96b	4,54	0,86	1,10
	xG4	7,22a	7,07a	7,02a	7,05a	79,86a	4,46	0,85	1,17
<i>F</i>		0,01	0,01	0,00	0,05	0,03	0,83	0,98	0,36
A2	xG1	7,62b	7,40b	7,54b	7,40	81,89b	4,41	0,88	1,10
	xG2	7,62b	7,45b	7,35b	7,37	81,76b	4,55	0,78	1,08
	xG3	7,68b	7,51b	7,45b	7,37	82,28b	4,57	0,87	1,09
	xG4	7,19a	7,03a	7,15a	7,30	79,77a	4,57	0,91	1,04
<i>F</i>		0,01	0,04	0,03	0,87	0,02	0,98	0,23	0,71
A3	xG1	7,04a	6,99a	7,10	7,47a	79,63a	4,39	0,89	1,14b
	xG2	7,64b	7,48b	7,52	7,42a	82,15b	4,62	0,83	1,01a
	xG3	7,48b	7,29b	7,36	7,26b	81,06b	4,76	0,86	1,13b
	xG4	7,36b	7,12a	7,28	7,15b	79,98a	5,24	0,94	1,20b
<i>F</i>		0,00	0,04	0,06	0,02	0,02	0,40	0,39	0,00

* delineamento experimental constituído por 3 ambientes x 4 genótipos x 3 anos de colheita. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente ($P = 0,05$), pelo teste de Scott-Knot.

G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Gramma, A3= Santo Antônio do Amparo.

Avelino et al. (2005) relataram maiores teores de cafeína, trigonelina e ácido clorogênico em cafês cultivados em maiores altitudes. No presente estudo, embora os ambientes avaliados apresentem diferentes altitudes (Tabela 1), não foi possível diferenciar estes ambientes em relação ao conteúdo desses compostos.

Estudo recente, relacionando as principais variáveis climáticas (temperatura, precipitação, irradiância e evapotranspiração potencial) e a composição química de grãos crus de café, foi realizado por Joet et al. (2010). Foram analisadas 16 parcelas de café arábica, localizadas na ilha Reunion, em altitudes que variaram de 150 a 1.032 m. Foram quantificadas variações em lipídeos, ácidos clorogênicos, cafeína e conteúdo de açúcar. Entretanto, os resultados foram contraditórios, demonstrando a complexidade de se encontrar relações consistentes entre variáveis edafoclimáticas, constituintes bioquímicos e a melhoria do aroma e d sabor da bebida do café.

Os atributos sensoriais e a nota sensorial final apresentaram diferença significativa em relação à interação entre genótipo \times ambiente (Tabela 4).

As principais diferenças de sabor entre genótipos de *C. arabica* são devido às diferenças na constituição genética das plantas, a qual determina a manifestação de precursores de sabor e aroma distintos entre diferentes genótipos (LEROY et al., 2006; PEREIRA; CHALFOUN; CARVALHO, 2010). Tal fato justifica a diferenciação dos genótipos em função dos aspectos sensoriais.

Entretanto, diferentes genótipos de cafeeiro podem apresentar diferenças na qualidade e a interação genótipo e ambiente também pode provocar diferenças na qualidade do café (MALTA e CHAGAS, 2009). Embora os aspectos sensoriais analisados não tenham se diferenciado entre os ambientes, observa-se que a interação entre genótipos e ambientes foi significativa para

todos os atributos sensoriais e para a nota sensorial final, enfatizando o efeito da interação entre genótipo e ambiente na qualidade final do café.

Em função da limitação da análise univariada para a compreensão do efeito de todas as variáveis estudadas, os dados foram submetidos à análise multivariada, realizada por meio do escalonamento multidimensional (MDS), conforme metodologia escrita por Cox e Cox (2001).

Escalonamento multidimensional (MDS)

Na Tabela 5 encontra-se a matriz de medidas de dissimilaridade entre os doze pontos da interação entre genótipos e ambientes (A_xG_y), para as variáveis sensoriais da matriz de dados transformados. Pode-se verificar que menores valores indicam pontos (A_xG_y) mais similares, enquanto os valores maiores indicam dissimilaridade entre os pontos (A_xG_y).

Na Figura 1 é apresentado o biplot com escalonamento multidimensional dos 4 genótipos e dos 3 ambientes para os atributos sensoriais (acidez, fragrância, sabor e corpo) e nota sensorial final, bem como a função *stress* gerada com o propósito de verificar a qualidade do ajuste do MDS proporcionada pela redução das variáveis. Na representação, as distâncias entre os pontos estão diretamente relacionadas com dissimilaridades entre eles (Figura 1A). A função *stress* apresentou valor igual a 0,02, indicando uma excelente qualidade de ajuste (Figura 1B). Tal fato permite afirmar que a relação entre os atributos sensoriais e ambientes pode ser sintetizada por essas variáveis, representadas nos eixos preditivos.

Os pontos A3G2 e A2G3; A2G1 e A1G3, por exemplo, são os mais semelhantes entre si, conforme Tabela 5, de medidas de dissimilaridades. Diante dessa proximidade entre os pontos, é possível visualizar a formação de grupos de genótipo \times ambiente: grupo I, formado pelos pontos A3G1, A1G1,

A2G4, A1G4 e A3G4; grupo II, pelos pontos A3G3 e A1G2 e grupo III, pelos pontos A2G2, A1G3, A3G2, A2G3 e A2G1. É interessante ressaltar que o grupo III é o que apresenta maior proximidade, ou seja, maior similaridade entre seus pontos.

Observa-se que os cafés agrupados à esquerda do biplot (grupo I) apresentaram menor intensidade dos atributos fragrância, sabor e acidez, quando comparados aos cafés agrupados à direita (grupo III) (Figura 1A). Esse agrupamento também apresenta menores notas sensoriais finais (abaixo de 80 pontos), quando comparados também ao grupo III (Tabela 4). Todos os genótipos que apresentaram nota acima de 80 têm potencial para a produção de cafés especiais, com destaque para aqueles com nota superior a 81 pontos.

Os atributos sabor, acidez e fragrância foram os mais determinantes para a discriminação dos cafés. Por outro lado, no presente estudo, o atributo corpo pouco contribuiu para a discriminação dos grupos (Figura 1A). No entanto, foi responsável por aproximar ou distanciar pontos dentro dos grupos formados em relação ao eixo vertical. Os pontos alocados no grupo I foram os que sofreram maior interferência da variável corpo. Isto pode ser observado analisando-se os pontos A3G1 e A1G4. Ambos os pontos tiveram valores de acidez, sabor e nota sensorial final muito parecidos e se diferenciaram quanto aos atributos fragrância e, principalmente, corpo.

Tabela 5 Matriz de dissimilaridade entre os doze pontos (interações genótipo \times ambiente, A \times G_v), para as variáveis sensoriais.

	A1G1	A1G2	A1G3	A1G4	A2G1	A2G2	A2G3	A2G4	A3G1	A3G2	A3G3	A3G4
A1G1	0,000	1,403	2,460	0,355	2,398	2,257	2,780	0,191	0,236	2,659	1,531	0,498
A1G2	1,403	0,000	1,080	1,187	1,019	0,867	1,393	1,234	1,435	1,277	0,181	0,990
A1G3	2,460	1,080	0,000	2,244	0,155	0,234	0,332	2,295	2,477	0,221	0,939	2,050
A1G4	0,355	1,187	2,244	0,000	2,192	2,037	2,559	0,302	0,528	2,449	1,315	0,338
A2G1	2,398	1,019	0,155	2,192	0,000	0,237	0,413	2,232	2,414	0,273	0,878	1,986
A2G2	2,257	0,867	0,234	2,037	0,237	0,000	0,531	2,090	2,274	0,428	0,740	1,849
A2G3	2,780	1,393	0,332	2,559	0,413	0,531	0,000	2,615	2,797	0,157	1,258	2,371
A2G4	0,191	1,234	2,295	0,302	2,232	2,090	2,615	0,000	0,275	2,494	1,365	0,346
A3G1	0,236	1,435	2,477	0,528	2,414	2,274	2,797	0,275	0,000	2,672	1,565	0,614
A3G2	2,659	1,277	0,221	2,449	0,273	0,428	0,157	2,494	2,672	0,000	1,139	2,251
A3G3	1,531	0,181	0,939	1,315	0,878	0,740	1,258	1,365	1,565	1,139	0,000	1,114
A3G4	0,498	0,990	2,050	0,338	1,986	1,849	2,371	0,346	0,614	2,251	1,114	0,000

G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, , G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Grama, A3= Santo Antônio do Amparo.

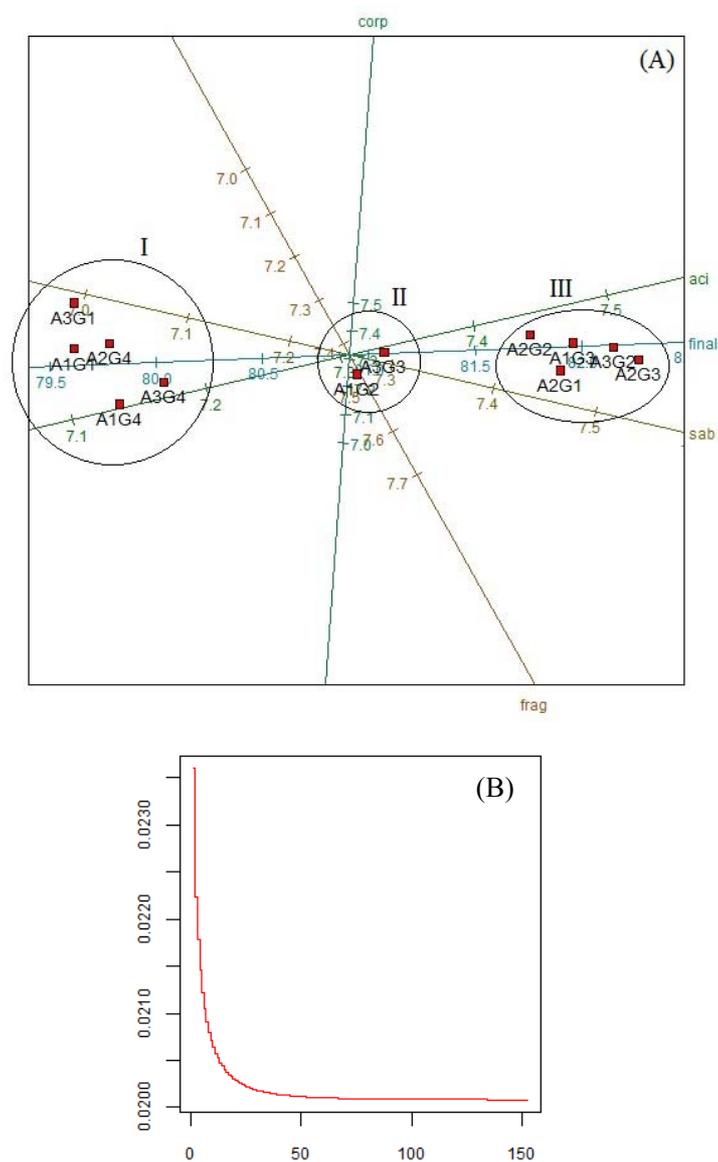


Figura 1 - (A) Biplot com escalonamento multidimensional dos quatro genótipos (G) e três ambientes (A), para os atributos sensoriais e nota sensorial final avaliados. (B) Função *stress* gerada em função da interação dos fatores. frag = fragrância, sab = sabor, aci = acidez, corp = corpo, final = nota sensorial final, G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Grama, A3= Santo Antônio do Amparo.

A partir dos agrupamentos formados é possível verificar que o genótipo Bourbon Amarelo (G4) não se expressou bem, do ponto de vista sensorial, em nenhum dos ambientes estudados, estando independente do ambiente estudado, sempre alocado no grupo I e apresentando alta similaridade entre eles. Assim, apesar de a qualidade intrínseca do Bourbon ser mundialmente conhecida e largamente utilizada para a produção de cafés especiais em diversas regiões do mundo (FIGUEIREDO, 2010), observa-se que existe variabilidade para a qualidade de bebida entre os genótipos de Bourbon estudados. As variações encontradas no sabor, na acidez e na fragrância indicam que nem todo genótipo Bourbon tem o mesmo potencial para a produção de cafés especiais. Tais resultados corroboram os de Ferreira et al. (2012) e Figueiredo (2010) que detectaram diferença no potencial para a produção de cafés de qualidade entre diferentes genótipos de Bourbon.

O ambiente São Sebastião da Grama (A2) destacou-se em relação aos demais. Nesse ambiente, todos os genótipos estudados, exceto o G4, apresentaram maior intensidade dos atributos sensoriais acidez, sabor e fragrância e, comparativamente, maiores notas sensoriais finais, estando sempre alocados no grupo III. Assim, quando o ambiente é favorável à produção de cafés especiais, sugere-se que a seleção ou a indicação de genótipos para cultivo poderiam priorizar a identificação e a restrição de genótipos impróprios para a qualidade. Os três ambientes estudados destacam-se pela produção de cafés arábica em grandes escalas. No entanto, segundo Alves et al. (2011), mesmo em regiões propícias à produção de cafés de boa qualidade, a diversidade climática pode causar variações nas características da bebida. Segundo Dal Molin et al. (2008), a variação das condições climáticas interfere na formação e na maturação dos frutos, alterando suas características intrínsecas, as quais podem permitir diferente qualidade de bebida.

O ambiente A2 é o que tem maior altitude (1.300 m). Em diversos trabalhos há relatos de que a elevação da altitude está relacionada com o aumento da qualidade da bebida do café (DECAZY et al., 2003; AVELINO et al., 2005; GUYOT et al., 1996; BERTRAND et al., 2006). Decazy et al. (2003) avaliaram a qualidade de cafés cultivados em seis regiões de Honduras e concluíram que maiores altitudes e precipitações menores que 1.500 mm foram favoráveis para a qualidade sensorial. Avelino et al. (2005) relacionaram elevadas altitudes com cafés de melhor qualidade, localizados em dois *terroirs* da Costa Rica, Orosi e Santa Maria de Dota. Guyot et al. (1996) também relatam melhoria na qualidade da bebida do café a partir de altitudes mais elevadas na Guatemala.

Os pontos A1G1 (Lavras/Mundo Novo) e A3G1 (Santo Antônio do Amparo/Mundo Novo) foram os que apresentaram maior dissimilaridade em relação ao grupo dos cafés com maior pontuação sensorial (grupo III) (Figura 1A). A cultivar Mundo Novo (G1) é amplamente cultivada no Brasil, principalmente em virtude de sua alta produtividade (FAZUOLI et al., 2005; CARVALHO et al., 2006) No entanto, apresentou limitações na produção de cafés especiais, indicando que a qualidade de sua bebida é dependente das condições do ambiente onde é cultivado. O genótipo Mundo Novo (G1) se destacou sensorialmente apenas quando cultivado no ambiente mais promissor para a produção de cafés especiais (A2).

Os ambientes Lavras e Santo Antônio do Amparo, quando combinados aos genótipos Bourbon Amarelo e Bourbon Amarelo IAC J9, respectivamente A1G3 e A3G2, destacaram-se sensorialmente e permitiram a produção de cafés com sabor, acidez e fragrância intensos e com elevada qualidade sensorial. Nesse caso, a interação genótipo e ambiente foi determinante para a manifestação de sabores e aromas dos cafés, destacando mais a contribuição dos genótipos Bourbon. Esses resultados confirmam o elevado potencial dos

genótipos G2 e G3 para a obtenção de cafés especiais em diferentes ambientes de produção. Observa-se que a diversidade genética é um dos fatores que mais contribuem para a definição da qualidade de bebida do café arábica (LEROY et al., 2006; PEREIRA; CHALFOUN; CARVALHO, 2010; DESSALEGN et al., 2008). Assim, acredita-se que programas de pesquisa e inovação tecnológicas que busquem aumentar a oferta de cafés especiais devem investir mais no entendimento da expressão gênica na qualidade e na oferta de novos genótipos capazes de produzir café com diversidade no sabor e aroma, mesmo quando cultivado em distintas condições.

Em estudo recente avaliaram-se os efeitos da forma de processamento, genótipos e ambiente de produção na qualidade do café (SALLA, 2009). Foi identificada forte interferência da constituição genética na determinação do sabor e aroma. A qualidade da bebida da maioria dos genótipos e cultivares variou em função do ambiente e da forma de processamento, porém, algumas cultivares apresentaram melhor qualidade de bebida em todos os ambientes e em qualquer forma de processamento, indicando elevada estabilidade genética para a qualidade de bebida (SALLA, 2009).

Na Tabela 6 encontra-se a matriz de medidas de dissimilaridade entre os doze pontos da interação entre genótipos e ambientes (A_xG_y) para as variáveis sensoriais e químicas da matriz de dados transformados.

Na literatura, encontra-se vasto material visando obter a correspondência entre compostos químicos (cafeína, trigonelina e 5-ACQ) com o perfil sensorial do café (CAMPA et al., 2004; FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006; DUARTE et al., 2010; BERTRAND et al., 2008; KY et al., 2001).

Os resultados obtidos para cafeína, trigonelina e 5-ACQ, com escalonamento multidimensional dos quatro genótipos e três ambientes, para os atributos sensoriais, a nota sensorial final e os compostos químicos avaliados, são apresentados na Figura 2. Os resultados demonstram relação entre as

características sensoriais e os teores dos compostos químicos na diferenciação dos genótipos e ambientes.

Observa-se, na Figura 2, que o agrupamento dos pontos obtidos em função dos atributos sensoriais (Figura 1) se manteve; a função *stress* (0,11) também indica bom ajuste do modelo (Figura 2B).

A inclusão dos compostos químicos permitiu maior distanciamento da maioria dos pontos (A_xG_y), representado pelo aumento da dissimilaridade entre eles, conforme Tabela 6 de dissimilaridade. Comparativamente, a maior dissimilaridade ocorreu no grupo com as menores notas sensoriais.

O composto químico 5-ACQ foi o que apresentou maior correlação com o eixo y e, conseqüentemente, proporcionou maior distanciamento dos pontos pertencentes ao mesmo genótipo. Observando-se os pontos referentes à interação do genótipo G4 com os três ambientes (A1G4, A2G4 e A3G4), verifica-se que o conteúdo de 5-ACQ possibilitou o aumento da dissimilaridade dos pontos, ou seja, permitiu maior discriminação dos ambientes A1, A2 e A3, quando combinado a esse genótipo. Os maiores teores de 5-ACQ foram encontrados no ambiente A3. Para os demais genótipos, observou-se o mesmo comportamento, encontrando-se sempre maiores teores de 5-ACQ no ambiente A3, comparativamente aos ambientes A2 e A1.

Tabela 6 Matriz de dissimilaridade entre os doze pontos (interações genótipo \times ambiente, A_xG_y) para as variáveis sensoriais e químicas.

	A1G1	A1G2	A1G3	A1G4	A2G1	A2G2	A2G3	A2G4	A3G1	A3G2	A3G3	A3G4
A1G1	0,000	1,429	2,501	0,508	2,419	2,305	2,821	0,521	0,377	2,714	1,670	1,248
A1G2	1,429	0,000	1,097	1,194	1,022	0,891	1,410	1,254	1,437	1,307	0,450	1,335
A1G3	2,501	1,097	0,000	2,246	0,204	0,248	0,334	2,296	2,482	0,254	0,965	2,169
A1G4	0,508	1,194	2,246	0,000	2,194	2,042	2,563	0,348	0,535	2,459	1,351	0,854
A2G1	2,419	1,022	0,204	2,194	0,000	0,291	0,443	2,238	2,414	0,358	0,947	2,154
A2G2	2,305	0,891	0,248	2,042	0,291	0,000	0,539	2,095	2,283	0,443	0,778	1,986
A2G3	2,821	1,410	0,334	2,563	0,443	0,539	0,000	2,616	2,803	0,188	1,274	2,467
A2G4	0,521	1,254	2,296	0,348	2,238	2,095	2,616	0,000	0,340	2,495	1,383	0,774
A3G1	0,377	1,437	2,482	0,535	2,414	2,283	2,803	0,340	0,000	2,686	1,610	1,051
A3G2	2,714	1,307	0,254	2,459	0,358	0,443	0,188	2,495	2,686	0,000	1,156	2,346
A3G3	1,670	0,450	0,965	1,351	0,947	0,778	1,274	1,383	1,610	1,156	0,000	1,215
A3G4	1,248	1,335	2,169	0,854	2,154	1,986	2,467	0,774	1,051	2,346	1,215	0,000

G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Gramma, A3= Santo Antônio do Amparo

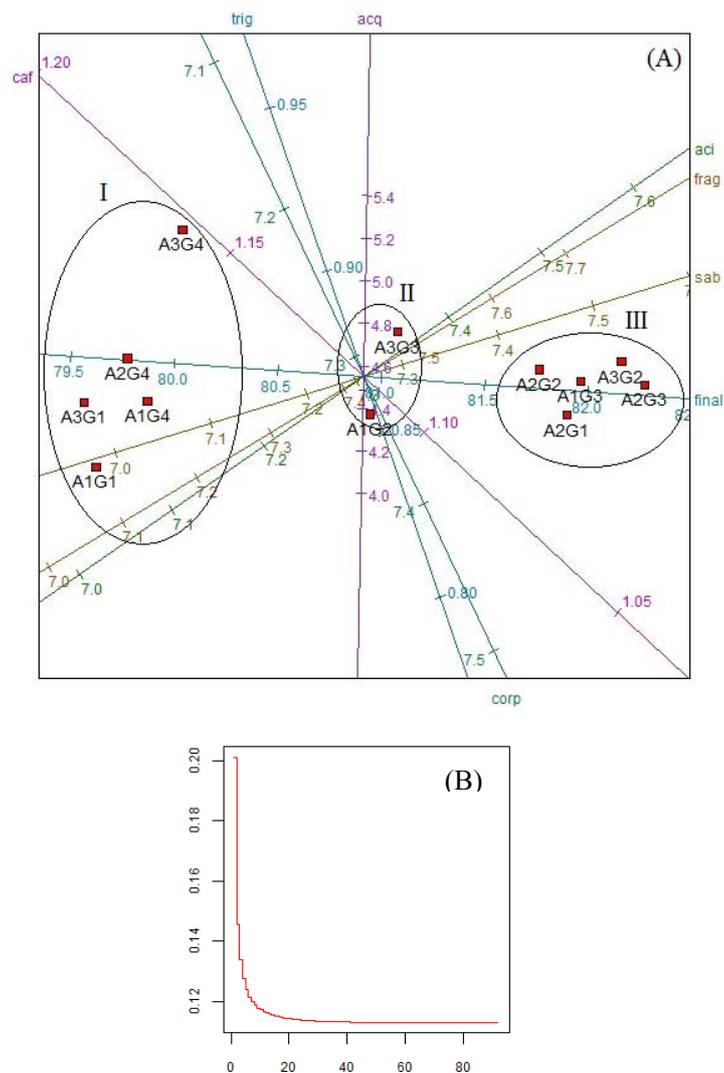


Figura 2 - (A) Biplot com escalonamento multifuncional dos quatro genótipos (G) e três ambientes (A) para os atributos sensoriais, a nota sensorial final e os compostos químicos avaliados. (B) Função *stress* gerada em função da interação dos fatores. frag = fragrância, sab = sabor, aci = acidez, corp = corpo, final = nota sensorial final, G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Grama, A3= Santo Antônio do Amparo.

Avelino et al. (2005) discriminaram os ambientes Santa Maria de Dota e Orosi (Costa Rica) a partir da quantificação dos compostos químicos cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos e sacarose. A composição de ácidos clorogênicos e, principalmente, de ácidos graxos possibilitou a discriminação dos ambientes Naranjal, Paraguaicito e Rosario, localizados na Colômbia (BERTRAND et al., 2008).

Farah et al. (2006) identificaram oito ácidos clorogênicos, sendo o ácido cafeoilquínico o principal, responsável por 83% do total. Os maiores conteúdos de CGA (7,02 g/100 g) 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 sabor rio (Farah et al., 2006).

No presente estudo, não foi possível relacionar o conteúdo de 5-ACQ com qualidade sensorial em função da interação genótipo \times ambiente; ora cafés com maiores notas sensoriais apresentaram menores teores de 5-ACQ, ora maiores teores e vice-versa. No entanto, entre os compostos químicos, o 5-ACQ foi o que melhor distinguiu os ambientes estudados.

O conteúdo de trigonelina também não se mostrou um bom discriminador dos grupos formados. No entanto, de modo geral, o conteúdo de trigonelina foi menor nos cafés que obtiveram maiores notas finais na avaliação sensorial (grupo III) (Figura 2A).

Observa-se que as características sensoriais foram claramente representadas ao longo do eixo x, enquanto os compostos químicos 5-ACQ e trigonelina foram ao longo do eixo y (Figura 2A). Avelino et al. (2005) também verificaram que algumas características químicas foram amplamente

independentes das características sensoriais dos cafês avaliados, dentre elas o conteúdo de ácidos clorogênicos e trigonelina.

Farah et al. (2006), trabalhando com cafês 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 forte correlação negativa com a pior qualidade e com sabor rio. Campa et al. (2004) relataram variações no conteúdo de trigonelina, entre dezesseis espécies de café, de 0,39% a 1,77% (base seca). Franca et al. (2005) não encontraram relação entre a qualidade sensorial da bebida dos cafês analisados e o conteúdo de trigonelina e 5-ACQ. Analisando variedades de café, Bertrand et al. (2006) não encontraram relação significativa entre o teor de trigonelina e as diferentes variedades estudadas.

Já o conteúdo de cafeína se correlacionou com a separação dos grupos I e III, ou seja, permitiu a discriminação dos cafês (A_xG_y) com menores e maiores notas sensoriais finais. Os cafês pertencentes ao grupo III apresentaram menores teores de cafeína e maiores notas sensoriais, enquanto os pertencentes ao grupo I apresentaram maiores teores de cafeína e menores notas sensoriais.

Dessalegn et al. (2008) também 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 também relacionaram baixos teores de cafeína com características físicas desejáveis nos grãos crus de café, tais como tamanho, forma e uniformidade. Acredita-se que a biossíntese de cafeína e sua acumulação nos grãos crus possa ser mais pronunciada durante o estresse do que em condições favoráveis.

Ao contrário do que ocorreu para o grupo I, os pontos A3G2, A2G3, A1G3 e A2G2 (grupo III) aumentaram a sua similaridade com a inclusão das variáveis químicas. Diante disso, observa-se que os cafês que têm menores notas

finais sensoriais (grupo I) apresentam maior variabilidade química que os cafés que têm maiores notas sensoriais finais (grupo III) (Figura 2A).

A relação entre o conteúdo de cafeína, trigonelina e 5-ACQ e a qualidade sensorial de cafés ainda é bastante controvertida. No presente estudo e diante das condições analisadas, apenas o conteúdo de cafeína se mostrou um discriminador de cafés quanto à qualidade de bebida, enquanto o 5-ACQ, um discriminador dos ambientes.

CONCLUSÕES

São Sebastião da Grama (A2) foi o ambiente mais promissor para a produção de cafés especiais.

Independente do ambiente de cultivo, o genótipo Bourbon Amarelo (G4) não é indicado para a produção de cafés especiais.

A cultivar Mundo Novo IAC 502/9, em ambiente favorável, produz cafés de qualidade.

Lavras e Santo Antônio do Amparo produzem cafés de qualidade, dependendo do genótipo cultivado.

Os genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 e Bourbon Amarelo (G3) são os mais indicados para a produção de cafés de especiais.

O conteúdo de cafeína permitiu discriminar cafés quanto à qualidade de bebida. Cafés com qualidade superior têm menores teores de cafeína.

O conteúdo de 5-ACQ permitiu discriminar ambientes.

REFERÊNCIAS

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

AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitudeterroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. Londres, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, 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, 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, 2008.

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

BORÉM, F. M. **Processamento do café**. In: _____ (Ed.). Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.

CAMPA, C. et al. Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species. **Food Chemistry**. London, v. 88, p. 39-44, 2004.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies de cafeeiro cultivar mundo novo. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.30, n.5, p. 853-860, 2006.

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

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**. Campinas, v. 69, p.239-247, 2010.

COX, T. F.; COX, M.A.A. Multidimensional scaling. Boca Raton, FL: Chapman and Hall, Washington, 2001.

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

DECAZY, F. et al. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. **Journal of Food Science**. Chicago, v. 68, p. 2356-2361, 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, 2008.

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

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

FAZUOLI, L. C. et al. Avaliação das cultivares Mundo Novo, Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho de *Coffea arabica* L. em Campinas, SP. **Bragantia**. Campinas, v.64, n.4, p. 533-546, 2005.

FERREIRA, A. D. et al. Análise sensorial de diferentes genótipos de cafeeiros Bourbon. **Interciência**, v. 37, n.5, p. 390-394, 2012.

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

FIGUEIREDO, L. P. **Perfil sensorial e químico de genótipos de cafeeiro Bourbon de diferentes origens geográficas**. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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.

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

GUYOT, B. J. C. et al. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. **Plantations, Recherche, Développement**. Paris, v. 3, p. 272-280, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Green coffee-determination of loss mass at 105°C: ISO 6673: 2003. Switzerland, 1999.

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

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, p. 223-230, 2001.

LEROY, T. et al. Genetics of coffee quality. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Piracicaba, v.18, p. 229-242, 2006.

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, Califórnia, 2011. 66 p.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

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

PEREIRA, M. C.; CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, G. R. de. Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea arabica L.*) in the region of upper Paranaíba. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, p. 635-641, 2010.

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: 5 dez. 2012.

SALLA, M. H. **Influence of genotype, location and processing methods on the quality of coffe (Coffea arabica L.)**. 2009. 105f. Thesis (Master of Science) – Hawassa University, Hawassa, Ethiopia, 2009.

VILLARREAL, D. et. al. Genotypic and environmental effects on coffee (Coffea arabica L.) bean fatty acid profile: impact on variety and origin chemometric determination. **Journal of agricultural and food chemistry**. Washington, v. 57, n. 23, p. 11321-11327, 2009.

ARTIGO 2

**ÁCIDOS ORGÂNICOS, SACAROSE E QUALIDADE DE CAFÉS
ESPECIAIS**

Versão preliminar de artigo – Sujeito a alterações pelo corpo editorial da revista.

Revista: *Journal of the Science of Food and Agriculture* (IF: 1,43)

AUTORES

RESUMO

O crescimento da demanda por cafés de qualidade no mercado internacional justifica a necessidade de países produtores investirem em pesquisas que visem compreender a influência de fatores genéticos e ambientais sobre a qualidade dos cafés. Este estudo foi realizado com o objetivo de verificar a ocorrência de genótipos mais promissores à produção de cafés especiais, em três diferentes ambientes, bem como verificar a influência da interação desses fatores sobre a composição de ácidos orgânicos e sacarose. Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao grupo da cultivar Bourbon. Os genótipos foram avaliados na forma de experimento em campo nos municípios de Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Gramma, SP. Os genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 e Bourbon Amarelo/ origem SSP foram os mais indicados para a produção de cafés especiais. O conteúdo de sacarose e ácido oxálico foi bom discriminador da qualidade de cafés especiais. Cafés com qualidade superior têm maiores teores de sacarose e menores teores de ácido oxálico.

Palavras-chave: Bourbon. Composição química. Perfil Sensorial. Análise de componentes principais.

INTRODUÇÃO

A demanda por cafés especiais, no mercado mundial, vem crescendo em proporções muito maiores do que a por cafés comuns. A qualidade diferenciada dos cafés especiais está relacionada com a qualidade intrínseca do café, representando tudo aquilo que os grãos possuem, em termos de compostos químicos que, após a torra, irão proporcionar aroma, sabor, acidez, doçura e amargor à bebida (GIOMO E BORÉM, 2011).

Os programas de melhoramento genético do café têm desenvolvido cultivares com o objetivo de aumentar a produtividade, agregar características agrônômicas de resistência às pragas e a doenças, e desenvolver plantas com porte baixo e adaptadas às diversas condições de clima e solo (SERA, 2001; PETEK et al., 2006), mas, muitas vezes, a qualidade da bebida não é considerada nesse desenvolvimento.

Dentre as várias cultivares de cafés arábica existentes, a cultivar Bourbon tem recebido destaque mundial, do ponto de vista da qualidade, em função do seu potencial para a produção de cafés diferenciados em relação aos sabores e aromas. No entanto, em alguns trabalhos há relatos da diferença no potencial para a produção de cafés de qualidade entre diferentes genótipos de Bourbon (FERREIRA et al., 2012; FIGUEIREDO, 2010).

O café é um produto cuja qualidade se expressa diferentemente, em função do local de plantio. É, essencialmente, um produto de *terroir*, ou seja, é influenciado diretamente pelos aspectos ambientais, tanto os naturais quanto os humanos (ALVES et al., 2011). A produção de café arábica no Brasil é bastante extensa, envolvendo diversos ambientes. Essa imensa diversidade de ambientes, associada à ampla variabilidade genética, permite que o Brasil produza cafés com características sensoriais distintas.

A qualidade e a aceitabilidade do café estão diretamente relacionadas com a composição química dos grãos. Dentre as várias classes de compostos químicos presentes nos grãos, os ácidos orgânicos e a sacarose são conhecidos por contribuir para a formação do sabor e aroma café. O conteúdo de ácidos orgânicos e sacarose nos grãos de café tem sido quantificado por vários autores (ROGERS et al., 1999b; ALCÁZAR et al., 2003; JHAM et al., 2002; KY et al., 2001; CAMPA et al., 2004). No entanto, não existem trabalhos que relacionem estes constituintes químicos com a qualidade sensorial de cafés Bourbons.

O crescimento da demanda por cafés de melhor qualidade no mercado internacional justifica a necessidade de países produtores investirem em pesquisas realizadas para compreender a influência de fatores genéticos e ambientais sobre a qualidade dos cafés.

Este estudo foi realizado com o objetivo de verificar a ocorrência de genótipos mais promissores para a produção de cafés especiais em três diferentes ambientes, bem como verificar a influência da interação desses fatores sobre a composição de ácidos orgânicos e sacarose. Além disso, buscou-se melhor compreensão das relações entre esses compostos químicos e as características sensoriais de cafés Bourbon.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados quatro genótipos de café arábica (*Coffea arabica* L.), sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao grupo da cultivar Bourbon (Tabela 1). Os dados do presente trabalho referem-se às colheitas de três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011).

Com base nos resultados obtidos por Figueiredo (2010) e em dados preliminares do presente trabalho, os genótipos estudados foram selecionados a

partir de um grupo de 14 genótipos que incluíam 11 genótipos de Bourbon e 3 cultivares comerciais.

A escolha dos genótipos foi realizada visando à redução no número de observações e, com isso, maior controle e compreensão dos fenômenos estudados. O critério usado na escolha foram as notas sensoriais médias obtidas nos anos de 2009 e 2010. Foram escolhidos três genótipos de Bourbon e uma cultivar comercial (testemunha). Dentre os Bourbons, foi escolhido um genótipo que apresentou características de cafés especiais (notas acima de 81 pontos) em todos os ambientes estudados, um genótipo que apresentou notas abaixo de 80 pontos em todos os ambientes e um genótipo que apresentou nota variável nos diferentes ambientes.

Tabela 1 Genótipos de café arábica presentes no experimento em campo.

	Genótipo	Origem
1	Mundo Novo IAC 502/9	Epamig – Machado, MG
2	Bourbon Amarelo IAC J9	IAC – Campinas, SP
3	Bourbon Amarelo*	São Sebastião do Paraíso, MG
4	Bourbon Amarelo*	Carmo de Minas, MG

IAC – Instituto Agronômico de Campinas.

Epamig – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

Origem – refere-se à instituição, cidade e estado (Brasil) onde os genótipos foram coletados para serem utilizados nos experimentos cultivados em Lavras, São Sebastião da Grama e Santo Antônio do Amparo.

* Trata-se de cafeeiro declarado como Bourbon Amarelo, coletado em diferentes regiões produtoras do Brasil.

Os quatro genótipos estudados foram instalados na forma de experimento em campo, desde 2005, no sul do estado de Minas Gerais e na região Mogiana do estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Lavras, MG, Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Grama, SP.

A região Mogiana, localizada no interior do estado de São Paulo, tem a Mata Atlântica como bioma predominante, com ocorrência de campos rupestres. O sul do estado de Minas Gerais é caracterizado por bioma de transição Cerrado-Mata Atlântica e com ocorrência de campos rupestres. Ambas as regiões destacam-se pela produção de cafês arábica em grande escala. As distintas condições edafoclimáticas dessas importantes regiões produtoras de cafês do Brasil foram representadas e suas principais características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Região geográfica, variáveis climáticas e caracterização dos três ambientes estudados

Município	Lavras	São Sebastião da Grama	Santo Antônio do Amparo
Região	Sul de Minas	Mogiana Paulista	Sul de Minas
Altitude	919 m	1300 m	1050 m
Temperatura média	20,4 °C	20 °C	19,9 °C
Precipitação média anual	1460 mm	1560 mm	1700 mm
Latitude	21°14'43"S	21°42'38"S	20°91'66"S
Longitude	44°59'59"O	46°49'15"O	44°95'51"O
Tipo de solo	Latossolo Vermelho textura argilosa	Latossolo Amarelo textura média	Latossolo Vermelho textura argilosa

Na Tabela 3 é apresentada a condificação dos genótipos e dos ambientes estudados, utilizada na discussão dos resultados.

Tabela 3 Genótipos e ambientes estudados e seus códigos.

Ambientes	Genótipos
A1 = Lavras	G1 = Mundo Novo IAC 502/9
A2 = São Sebastião da Grama	G2 = Bourbon Amarelo IAC J9
A3 = Santo Antônio do Amparo	G3 = Bourbon Amarelo / Origem SSP
	G4 = Bourbon Amarelo / Origem CM

Colheita e processamento do café

A colheita foi manual e seletiva, quando a maioria dos frutos de cada parcela atingiu o estágio de maturação cereja. Posteriormente, procedeu-se à separação hidráulica dos frutos por diferença de densidade, em uma caixa d'água adaptada com uma peneira, garantindo completo isolamento dos materiais das diferentes parcelas.

A porção cereja, de maior densidade, foi separada da porção boia, de menor densidade. Embora tenha sido realizada a colheita seletiva dos frutos maduros, uma pequena porção de frutos imaturos ainda era encontrada na porção cereja.

Após a separação hidráulica, procedeu-se a uma nova seleção manual dos frutos, obtendo-se 20 L, garantindo-se a obtenção de amostras constituídas somente de frutos cereja. Em seguida, as amostras foram descascadas em descascador de amostras, obtendo-se o café cereja descascado (CD).

A secagem foi iniciada imediatamente após o processamento. As amostras de café foram secas em peneiras de 1 m² (moldura de madeira e tela com malha de 2,00 x 1,00 mm, fabricadas em fios de polietileno), dispostas sobre terreiro pavimentado. Foram distribuídos, uniformemente, 7 L de café descascado por peneira, revolvidos 20 vezes ao dia. Na primeira noite após a sua

distribuição nas peneiras, o café foi mantido aberto e descoberto e, nas noites seguintes, foi coberto com pano. A espessura da camada, equivalente a 7 L.m^{-2} , foi mantida até o café atingir a meia seca, com teor de água de, aproximadamente, 25% (b.u). Em seguida, dobrou-se a espessura da camada de café. Tais procedimentos foram realizados até o café atingir teor de água de 11% (b.u). Todos os procedimentos de colheita e processamento foram realizados segundo Borém (2008).

Preparação das amostras

Após a secagem, as amostras foram embaladas em sacos de papel e revestidas com sacos de plástico, identificadas e armazenadas em câmara com temperatura controlada, a $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por um período de 60 dias. Em seguida, as amostras foram beneficiadas e os defeitos retirados, visando à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas ao material genético ou ao ambiente de cultivo. As análises químicas e a torração foram realizadas nos grãos retidos nas peneiras 16 e acima (16, 17 e 18/64 avos de polegada).

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 freezer, à temperatura de $-80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até a realização das análises.

Teor de água

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado em estufa, a $105 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por 16 horas \pm 30 minutos, conforme o método padrão internacional da ISO 6673 (International Organization for Standardization – ISO, 1999).

Torração e avaliação sensorial

Todos os procedimentos foram realizados de acordo com os protocolos descritos pela Associação Americana de Cafés Especiais (*Specialty Coffee Association of America*, ou SCAA) (LINGLE, 2011). Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra em torrador de laboratório Probat TP2 (Curitiba, Brasil) no prazo máximo de 24 horas, antes da degustação. A torração foi interrompida quando o café atingiu torra média, determinada visualmente, utilizando-se um sistema de classificação de cor por meio de discos padronizados (SCAA/Agtron Roast Color Classification System; cor de referência nº65 para grãos moídos e 55 para grão inteiro). A temperatura e o tempo de torra foram monitorados por termômetros e cronômetros, respectivamente, respeitando-se a faixa de tempo de torra entre 8 e 12 minutos.

As amostras foram pesadas para uma relação pré-determinada de 8,25 g por 150 ml de água e, em seguida, moídas em moinho de amostras Mahlkönig Guatemala (Hamburg, Alemanha). Dez atributos sensoriais foram avaliados por um painel de juízes treinados e anotados em uma escala de 10 pontos, de acordo com a SCAA (LINGLE, 2011).

Os atributos sensoriais incluídos foram fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global. A nota sensorial final foi gerada a partir do somatório dos atributos avaliados. Em cada avaliação, foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada genótipo, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições. Cada ambiente foi avaliado separadamente e os resultados da avaliação sensorial foram estabelecidos a partir de uma escala que representa os níveis de qualidade com intervalos de 0,25 pontos.

Além da nota final obtida na avaliação sensorial, os atributos fragrância, acidez, corpo e sabor também foram analisados estatisticamente, visando complementar a análise, considerando que são os principais atributos responsáveis pela distinção de diferentes perfis sensoriais do café.

Extração - Ácidos orgânicos e sacarose

Para a extração dos compostos, 500 mg de café cru moído foram colocados em balão volumétrico de 100 ml e misturados com 70 ml de água deionizada (resistividade 18,2 MQ) aquecida a 70 °C, agitada vigorosamente e incubada, durante 30 minutos, a 70 °C.

Após o resfriamento à temperatura ambiente, o conteúdo do balão foi completado para 100 ml com água deionizada (resistividade 18,2 MQ) e, em seguida, filtrada em papel (Schleicher and Schuell filter paper 597.5). Uma alíquota (3 ml) do filtrado foi filtrado uma segunda vez, em um cartucho C18 (SEP PAK) equilibrado previamente com 3 ml de metanol, seguido de 3 ml de água (ROGERS et al., 1999b).

Determinação quantitativa de sacarose

A concentração de sacarose foi determinada em duplicata, segundo metodologia utilizada por Pezzopane et al. (2012), por meio de sistema HPLC inerte composto de válvula quaternária da marca Shimadzu (Kyoto, Japão), modelo FCV-10AL-VP, bomba da marca Shimadzu (Kyoto, Japão), modelo LC-10Ai (Kyoto, Japão), injetor automático da marca Shimadzu (Kyoto, Japão), modelo SIL-10Ai; detector eletroquímico da marca Dionex (CA, EUA), modelo ED 50 e supressora da marca Dionex (CA, EUA), modelo ASRS 300, 4 mm. A coluna cromatográfica utilizada foi uma PA1, 250×4 mm (Dionex®). A eluição

foi realizada em modo isocrático, a 30 °C, com uma taxa de fluxo de 1 ml.min⁻¹, utilizando como eluente solução 50 mMol L⁻¹ NaOH, preparada com água deionizada (resistividade 18,2 MQ), a partir de uma solução de NAOH 50% (Fisher).

As concentrações foram calculadas a partir da área do pico de uma solução padrão de sacarose (Sigma, cat. no. 7903, Sigma. St. Louis, MO). Os resultados dos teores de sacarose se referem aos anos de 2010 e 2011. Os teores finais de sacarose foram dados em porcentagem de matéria seca (% m.s).

Determinação quantitativa de ácidos orgânicos

A concentração dos ácidos orgânicos foi determinada em duplicata, por meio de sistema HPLC inerte, composto de válvula quaternária da marca Shimadzu (Kyoto, Japão), modelo FCV-10AL-VP; bomba da marca Shimadzu (Kyoto, Japão), modelo LC-10Ai (Kyoto, Japão); injetor automático da marca Shimadzu (Kyoto, Japão), modelo SIL-10Ai; detector eletroquímico da marca Dionex (CA, EUA), modelo ED 50 e supressora da marca Dionex (CA, EUA), modelo ASRS 300, 4 mm, conforme Rogers et al. (1999b).

Soluções padrões dos ácidos de interesse foram empregadas para a identificação dos picos dos cromatogramas e para o cálculo das suas concentrações nas amostras. Os resultados dos teores de ácidos orgânicos se referem aos anos de 2010 e 2011. Os teores finais dos ácidos orgânicos foram dados em porcentagem de matéria seca (% m.s). Os seguintes ácidos orgânicos foram quantificados: láctico, acético, málico, oxálico e cítrico.

Análise estatística

Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, em três ambientes de produção. Os três experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com três repetições em campo e parcelas constituídas por dez plantas.

Os resultados de atributos sensoriais, notas sensoriais finais, conteúdos dos ácidos orgânicos e sacarose foram, inicialmente, submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando diferenças significativas no teste F foram detectadas, o teste de Scott-Knott foi aplicado, a 5% de significância, utilizando-se o programa SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

Visando à melhor compreensão do efeito de todas as variáveis estudadas, os dados foram submetidos à análise multivariada. A discriminação entre as amostras foi realizada pela análise dos componentes principais (ACP), a partir da interação entre genótipos e ambientes, resultando no agrupamento dos pontos de acordo com a composição sensorial e química, utilizando o software estatístico Chemoface (NUNES et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química e sensorial

Na Tabela 4 são apresentados os teores de ácidos orgânicos e sacarose (%m.s), as notas dos atributos analisados e nota final da análise sensorial para cada genótipo e para cada ambiente estudado, bem como para a interação desses fatores.

O ácido orgânico encontrado em maior concentração nos grãos crus de café foi o cítrico. Quantidades intermediárias de ácido málico e valores menores

que 0,09% dos ácidos láctico, acético e oxálico também foram encontrados. O conteúdo de sacarose apresentou médias iguais a 9,72%. A composição química dos grãos obtida no presente estudo está de acordo com valores apresentados em trabalhos anteriores que quantificaram ácidos orgânicos (ROGERS et al., 1999b; ALCÁZAR et al., 2003; JHAM et al., 2002) e sacarose (KY et al., 2001; CAMPA et al., 2004; BRADBURY, 2001).

Os principais ácidos orgânicos presentes nos grãos crus de café são o cítrico e o málico (GINZ et al., 2000). A sacarose representa quase o total dos açúcares livres nos grãos maduros de café, porém, o teor pode variar entre espécies. Em *C. arábica*, o teor de sacarose na matéria seca pode variar entre 5,1% e 9,4%, no grão maduro, enquanto em *C. canephora* o teor é bem abaixo disso, ficando entre 4% e 7% (CLIFFORD, 1985; KY et al., 2001; CAMPA et al., 2004; BRADBURY, 2001).

Dentre os compostos químicos analisados, a sacarose foi o único que apresentou diferença significativa em relação aos genótipos, aos ambientes e à interação entre genótipo e ambiente.

A maioria dos genótipos não diferiu em relação aos ácidos orgânicos analisados (Tabela 4). O conteúdo de sacarose em café comercial pode ser altamente influenciado por espécies de café, variedade, origem geográfica e condições de torração (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; OOSTERVELD; VORAGEN; SCHOLS, 2003; TRUGO; MACRAE, 1984).

A interação entre genótipo e ambiente foi significativa para conteúdo de sacarose, nota sensorial final e para a maioria dos atributos sensoriais avaliados. Tais resultados enfatizam o efeito da interação genótipo e ambiente na qualidade final do café, conforme relatado por Malta e Chagas (2009) e Bertrand et al. (

Tabela 4 Teores médios de ácidos orgânicos, sacarose e notas da análise sensorial dos atributos fragrância, sabor, acidez e corpo e nota sensorial final dos grãos de café de quatro genótipos e suas interações com três ambientes: média e probabilidade de significância (*F*) determinada por análise de variância (ANAVA) de três ambientes e quatro genótipos.

genótipo/ambiente		lático	acético	málico	oxálico	cítrico	sacarose	fragrância	sabor	acidez	corpo	final	
	G1	0,08	0,08a	0,55a	0,05	1,36	9,50a	7,25a	7,11a	7,25a	7,37b	80,38a	
	G2	0,08	0,08a	0,51a	0,05	1,36	10,17b	7,60b	7,39b	7,38b	7,37b	81,61b	
	G3	0,08	0,06b	0,46b	0,04	1,29	9,88c	7,58b	7,44b	7,43b	7,33b	81,76b	
	G4	0,09	0,06b	0,53a	0,05	1,42	9,34a	7,26a	7,07a	7,15a	7,17a	79,87a	
	<i>F</i>	0,17	0,04	0,00	0,16	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
	A1	0,08	0,08	0,49	0,04a	1,32	9,03a	7,36	7,20	7,22	7,24	80,59	
	A2	0,09	0,07	0,53	0,04a	1,32	10,25b	7,52	7,35	7,37	7,36	81,42	
	A3	0,08	0,06	0,52	0,06b	1,43	9,88c	7,38	7,22	7,32	7,33	80,70	
	<i>F</i>	0,11	0,07	0,06	0,00	0,08	0,00	0,11	0,20	0,07	0,12	0,12	
	A1	xG1	0,06a	0,07a	0,50	0,05b	1,26	8,86a	7,09a	6,95a	7,12a	7,25b	79,64a
		xG2	0,06a	0,10b	0,49	0,04a	1,37	9,41b	7,53b	7,25b	7,27b	7,31b	80,93b
		xG3	0,09a	0,06a	0,45	0,04a	1,25	9,31b	7,58b	7,51b	7,46b	7,36b	81,96b
		xG4	0,12b	0,07a	0,51	0,05b	1,39	8,56a	7,22a	7,07a	7,02a	7,05a	79,86a
	<i>F</i>		0,00	0,01	0,22	0,04	0,50	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,03
	A2	xG1	0,09	0,08	0,56	0,04	1,34	9,98a	7,62b	7,40b	7,54b	7,40	81,89b
		xG2	0,09	0,07	0,53	0,05	1,34	10,60b	7,62b	7,45b	7,35b	7,37	81,76b
		xG3	0,09	0,06	0,50	0,04	1,31	10,49b	7,68b	7,51b	7,45b	7,37	82,28b
		xG4	0,09	0,06	0,53	0,04	1,31	9,95a	7,19a	7,03a	7,15a	7,30	79,77a
	<i>F</i>		0,81	0,47	0,31	0,46	0,97	0,01	0,04	0,03	0,87	0,02	
	A3	xG1	0,09	0,08	0,57a	0,06	1,48	9,68a	7,04a	6,99a	7,10	7,47a	79,63a
		xG2	0,08	0,05	0,50b	0,05	1,36	10,51b	7,64b	7,48b	7,52	7,42a	82,15b
		xG3	0,08	0,05	0,44b	0,05	1,32	9,86b	7,48b	7,29b	7,36	7,26b	81,06b
		xG4	0,07	0,06	0,55a	0,06	1,57	9,50a	7,36b	7,12a	7,28	7,15b	79,98a
	<i>F</i>		0,57	0,19	0,00	0,18	0,13	0,00	0,04	0,06	0,02	0,02	

1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Gramma, A3= Santo Antônio do Amparo

Análise de componentes principais (ACP)

Os biplots foram obtidos de acordo com a dispersão dos escores dos primeiros componentes principais nos eixos, sendo o primeiro componente o de maior variância, seguido pelo segundo de menor variância (segundo componente). Foi possível também detectar quais foram as características que mais contribuíram para os agrupamentos formados.

A Figura 1 é uma projeção dos resultados obtidos da ACP, referente à distribuição dos genótipos/ambientes (A_xG_y), em função dos atributos e da nota sensorial final. Na representação gráfica por ACP, cada eixo (componente principal) explica uma porcentagem da variação total entre as amostras. Os dois primeiros componentes principais explicam 96,93% da variabilidade das respostas, o que demonstra ótima explicação da variação ocorrida entre as amostras, em relação aos parâmetros sensoriais.

Nos biplots apresentados (Figura 1 e 2), os atributos sensoriais são representado por vetores e a interação entre genótipos e ambientes (A_xG_y), por pontos. Quanto mais próximo o ângulo entre os vetores, maior a correlação entre os atributos.

O primeiro componente principal sugere semelhança entre os pontos, formando três grupos distintos de genótipos χ ambientes: o primeiro (I), com os pontos alocados a esquerda no biplot (A1G1, A1G4, A3G1, A2G4 e A3G4); o segundo (II), com pontos alocados na parte central no biplot (A3G3 e A1G2) e o terceiro (III), com pontos à direita no biplot (A2G3, A1G3, A3G2, A2G1 e A2G2) (Figura 1).

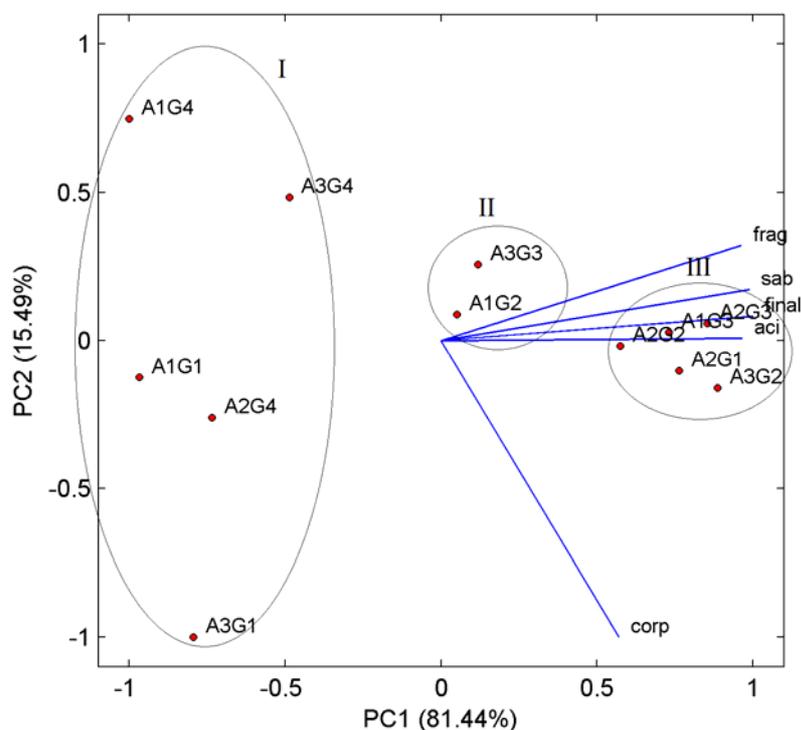


Figura 1 - Biplot dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais para dados de quatro genótipos (G) e três ambientes (A), em função dos atributos e da nota sensorial final avaliados. frag = fragrância; sab = sabor; aci = acidez; corp = corpo; final = nota sensorial final. G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Grama, A3= Santo Antônio do Amparo.

Observa-se que os cafés pertencentes ao grupo I apresentaram baixa correlação com os atributos fragrância, sabor, acidez e menores notas sensoriais finais (abaixo de 80 pontos – Tabela 4), quando comparados ao grupo III (Figura 1). Todos os genótipos que apresentaram nota acima de 80 têm potencial para a produção de cafés especiais, com destaque para aqueles com nota superior a 81 pontos (grupo III).

Os atributos fragrância, sabor e acidez foram os mais determinantes para a discriminação dos cafés, portanto, caracteriza o primeiro componente principal (Tabela 5). A acidez do café é um importante parâmetro

organoléptico. A acidez pode ser agradável ou não, dependendo da natureza do ácido predominante na bebida. Uma acidez agradável contribui para a vivacidade do café, aumenta a percepção da doçura e confere característica de fruta fresca. A acidez excessiva pode ser desagradável e indicar característica não usual de um café (SCAA 2009; LINGLE, 2011; ILLY e VIANI, 2005).

Tabela 5 Correlações entre os parâmetros avaliados (nota final e atributos sensoriais) e os dois primeiros componentes principais.

Parâmetros	PC1 (%)	PC2 (%)
Fragrância	0,96	0,32
Sabor	0,99	0,17
Acidez	0,97	0,01
Corpo	0,57	-1,00
Final	1,00	0,08

O atributo corpo apresentou maior correlação com o segundo componente principal. Tal atributo foi importante para a discriminação do perfil sensorial de cafés de menor qualidade (grupo I). Em cafés, este atributo é um descritor utilizado para caracterizar as propriedades físicas da bebida, relacionadas à densidade e à textura (AVELINO et al., 2005; ILLY e VIANI, 2005).

A partir dos agrupamentos formados é possível verificar que os genótipos de Bourbon se expressaram de maneira diferente, do ponto de vista sensorial. O genótipo Bourbon Amarelo (G4) apresentou menores características de sabor, acidez e fragrância, quando comparado aos genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 (G2) e Bourbon Amarelo (G3) (Figura 1). Independente do ambiente estudado, o genótipo G4 tem menor potencial para a produção de cafés especiais, estando sempre alocado à esquerda no biplot. Em alguns trabalhos também há relatos da diferença no potencial para

a produção de cafés de qualidade entre diferentes genótipos de Bourbon (FIGUEIREDO, 2010; FERREIRA et al., 2012).

O ambiente São Sebastião da Grama (A2) se destacou em relação aos demais. Esse ambiente apresentou maior intensidade dos atributos sensoriais acidez, sabor e fragrância (Figura 1) e maiores notas sensoriais finais (Tabela 4), estando alocados à direita no biplot (grupo III), exceto quando combinado ao genótipo G4.

Os três ambientes estudados se destacam pela produção de cafés arábica em grandes escalas e são conhecidos por produzir cafés de qualidade. No entanto, segundo Alves et al. (2011), mesmo regiões propícias à produção de cafés de boa qualidade possuem uma diversidade climática que causa variações nas características da bebida (acidez, corpo e aroma). Segundo Dal Molin et al. (2008), a variação das condições climáticas interfere na formação e na maturação dos frutos, alterando suas características intrínsecas, as quais podem permitir diferente qualidade de bebida.

A cultivar Mundo Novo (G2) é amplamente cultivada no Brasil, principalmente em virtude de sua alta produtividade (FAZUOLI et al., 2005; CARVALHO et al., 2006). No entanto, apresentou limitações na produção de cafés especiais, indicando que a qualidade de sua bebida é dependente das condições do ambiente onde é cultivado. A cultivar Mundo Novo (G1) se destacou sensorialmente apenas quando cultivada no ambiente mais promissor para a produção de cafés especiais (A2).

Os ambientes Lavras e Santo Antônio do Amparo, quando combinados aos genótipos Bourbon Amarelo e Bourbon Amarelo IAC J9, respectivamente A1G3 e A3G2, destacaram-se sensorialmente e permitiram a produção de cafés com elevada qualidade sensorial (Figura 1). Neste caso, a interação genótipo e ambiente foi determinante para a manifestação de sabores e aromas dos cafés. Esses resultados confirmam o elevado potencial dos genótipos G2 e G3 para a obtenção de cafés especiais, em diferentes ambientes de produção. Vários autores citam que a diversidade genética é

um dos fatores que mais contribuem para a definição da qualidade de bebida do café arábica (LEROY et al., 2006; PEREIRA; CHALFOUN; CARVALHO, 2010; DESSALEGN et al., 2008).

Considerando que são escassos trabalhos que visam correlacionar a composição química dos grãos de café com a qualidade da bebida, um novo biplot foi gerado (Figura 2) a partir da análise de componentes principais para dados de quatro genótipos e três ambientes para os atributos sensoriais, notas sensoriais finais, ácidos orgânicos e sacarose.

O primeiro componente principal explica 47,91% da variância total entre as amostras, enquanto o segundo explica 15,82%. Os dois primeiros componentes principais explicam, portanto, 63,73% da variância dos dados estudados.

As correlações entre os teores dos ácidos orgânicos, a nota final sensorial e os atributos sensoriais plotados em dois eixos cartesianos estão representadas na Figura 2, enquanto a grandeza de cada variável pode ser observada na Tabela 6. Observa-se, na Figura 2, que o agrupamento dos pontos obtidos em função dos atributos sensoriais (Figura 1) se manteve, embora a porcentagem de variância explicada pelos dados tenha sido menor.

As características sensoriais, exceto corpo, estão claramente representadas ao longo da dimensão 1 (PC1) no biplot, enquanto a maioria das características químicas, exceto ácido oxálico e sacarose, está representada ao longo da dimensão 2 (PC2) (Figura 2).

módulo, a 0,65, indicando que tiveram grande importância para os valores (escores) de PC1. Cafés com melhores características sensoriais (grupo III) se correlacionaram positivamente com o conteúdo de sacarose e negativamente com o de ácido oxálico. Comportamento inverso foi observado para os cafés alocados no grupo I (Figura 2, Tabela 6).

A sacarose é um dos compostos no grão de café cru que têm sido investigados como um importante precursor de sabor e aroma do café porque, durante a torra, a sacarose é rapidamente degradada, sendo seu conteúdo, em um café com torra média, vestigial. De acordo com Trugo e Macrae (1984), as perdas de sacarose durante a torra chegam a 98%. A sacarose também é o principal contribuinte na formação de açúcares redutores que estão envolvidos em reações de fragmentação, caramelização e na reação de Maillard que ocorrem durante a torração. Os vários compostos resultantes dessas reações são importantes contribuintes para o sabor e o aroma do café, estando, possivelmente, relacionados com a doçura da bebida (ROGERS et al. 1999a; GINZ et al., 2000; BRADBURY, 2001; GROSCH, 2001; HOMMA, 2001b).

Segundo a Organização Internacional do Café (OIC, 1991), a doçura é uma das características de sabor mais desejáveis nos cafés *gourmets*. Diante disso, é esperado que maiores teores de sacarose se relacionem com cafés de melhor qualidade, assim como observado no presente estudo.

O conteúdo de sacarose tem sido associado positivamente com com cafés de bebida ácida (DECAZY et al., 2003; BERTRAND et al., 2003). Neste estudo, os vetores sacarose e acidez apresentaram proximidade no biplot (Figura 2) e correlação positiva. Tais atributos foram extremamente importantes na separação dos cafés A3G2, A2G2 e A2G1, que obtiveram maiores notas finais na avaliação sensorial. Desse modo, observa-se que a combinação dos atributos doçura e acidez foram importantes para a expressão do sabor e do aroma dos cafés.

O ácido oxálico é um ácido dicarboxílico tóxico e presente em plantas, como espinafre e azedinhas. Embora a ingestão de ácido oxálico

puro seja fatal, seu teor na maioria das plantas comestíveis é muito baixo para apresentar um risco sério (SNYDER, 1995). Dentre os ácidos avaliados, o teor do ácido oxálico foi o menor encontrado (valores médios de 0,05% m.s). Não existem estudos que relacionem o conteúdo de ácido oxálico com a percepção sensorial de alimentos, no entanto, no presente trabalho, o conteúdo deste composto se relacionou negativamente com a qualidade do café.

Tabela 6 Correlações entre os parâmetros avaliados (ácidos graxos, nota final sensorial e atributos sensoriais) e os dois primeiros componentes principais.

Parâmetros	PC1 (46,52%)	PC2 (26,69%)
Fragrância	0,96	-0,01
Sabor	0,99	0,01
Acidez	0,94	-0,22
Corpo	0,56	-0,72
Final	1,00	-0,04
Ácido láctico	-0,03	0,24
Ácido acético	-0,20	-0,36
Ácido málico	-0,44	-1,00
Ácido oxálico	-0,68	-0,40
Ácido cítrico	-0,46	-0,78
Sacarose	0,72	-0,68

Os demais ácidos orgânicos (láctico, acético, málico e cítrico) apresentaram contribuições mais significativas para o segundo componente principal (PC2) (Tabela 6). O conteúdo de ácido málico e cítrico foi o que apresentou maiores coeficientes de correlação com a PC2. O segundo componente principal permitiu diferenciar os pontos (A_xG_y) em função desses ácidos orgânicos dentro de cada grupo inicialmente formado pelo primeiro componente principal.

Em pequenas concentrações, os ácidos carboxílicos são responsáveis por muitas fragrâncias encontradas nos cafés. 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. Se quantidades demasiadas de ácido acético são formadas, o grão cru desenvolve um sabor fermentado altamente desagradável (LINGLE, 2011). É importante ressaltar que, no presente estudo, todos os cuidados relacionados com a colheita e a pós-colheita dos frutos, necessários para a produção de cafés especiais, foram tomados, garantindo a produção de cafés livres de defeitos e fermentações,

Embora esses ácidos orgânicos sejam responsáveis por importantes sabores e aromas encontrados em cafés, vale ressaltar que, no presente estudo, o segundo componente principal explicou pequena parte da variabilidade dos dados (15,8%). Logo, estes resultados indicam que esses ácidos orgânicos (láctico, acético, málico e cítrico) quantificados não podem explicar, por si só, os critérios de qualidade avaliados.

CONCLUSÕES

Os genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 e Bourbon Amarelo/ Origem SSP foram mais indicados para a produção de cafés especiais.

O conteúdo de sacarose e ácido oxálico foi bom discriminador da qualidade de cafés especiais. Cafés com qualidade superior têm maiores teores de sacarose e menores teores de ácidos oxálicos.

Os ácidos láctico, acético, málico e cítrico não permitiram a discriminação dos cafés quanto à qualidade sensorial.

REFERÊNCIAS

- ALCÁZAR, A. et al. Ion chromatographic determination of some organic acids, chloride and phosphate in coffee and tea. **Talanta**. Londres, v.61, n.2, p.95–101, 2003.
- ALVES, H. M. R. et al. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 18-29, 2011.
- AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitudeterroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. Londres, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, 2005.
- BERTRAND, B. et al. Impact of the *Coffea canephora* gene introgression on beverage quality of *C. arabica*. **Theoretical and Applied Genetics. Berlin**, v. 107, p. 387-394, 2003.
- 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, 2006.
- BORÉM, F. M. **Processamento do café**. In: _____ (Ed.). Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.
- BRADBURY, A. G. W. **Chemistry I: Non-volatile Compounds, Part 1A: Carbohydrates**. In: CLARKE, R. J.; VITZTHUM, O. G. (Eds.). Coffee Recent Developments. Oxford: Blackwell Science, 2001. p.1-17.
- CAMPA, C. et al. Trigonelline and sucrose diversity in wild *Coffea* species. **Food Chemistry**. London, v. 88, p. 39-44, 2004.
- CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies de cafeeiro cultivar mundo novo. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.30, n.5, p. 853-860, 2006.
- CLIFFORD, M. N. **Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products**. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Eds.). Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. New York: Croom Helm, 1985. p. 305-374.

- DAL MOLIN, R. N. et al. Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuítas. **Acta Scientiarum Agronomy**. Paraná, v. 30, n. 3, p. 353-358, 2008.
- DECAZY, F. et al. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. **Journal of Food Science**. Chicago, v. 68, p. 2356-2361, 2003.
- DESSALEGN, Y. et al. (2008). 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, p.1726–1730, 2008.
- FAZUOLI, L. C. et al. Avaliação das cultivares Mundo Novo, Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho de *Coffea arabica* L. em Campinas, SP. **Bragantia**. Campinas, v.64, n.4, p. 533-546, 2005.
- FERREIRA, A. D. et al. Análise sensorial de diferentes genótipos de cafeeiros Bourbon. **Interciência**, v. 37, n.5, p. 390-394, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FIGUEIREDO, L. P. **Perfil sensorial e químico de genótipos de cafeeiro Bourbon de diferentes origens geográficas**. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- 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, 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, 2011.
- GROSCH, W. **Volatile compounds**. In: Clarke, R. J.; Vitzthum, O. G.; (Eds.). *Coffee: recent developments*. Oxford: Blackwell Science, 2001. p.68-89.
- HOMMA, S. **Chemistry II: Non-volatile Compounds: Carbohydrates**. In: Clarke, R. J.; Vitzthum, O. G. (Eds.). *Coffee Recent Developments*. Oxford: Blackwell Science, 2001b. p.1-17.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the science of quality**. London: Academic, 2005, 398p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Green coffee-determination of loss mass at 105°C: ISO 6673: 2003. Switzerland, 1999.

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, 2002.

KNOPP, S.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**. Berlin, v. 223, n. 2, p. 195-201, 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, p. 223-230, 2001.

LEROY, T. et al. Genetics of coffee quality. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Piracicaba, v.18, p. 229–242, 2006.

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, Califórnia, 2011. 66 p.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. Avaliação de compostos não-voláteis em diferentes cultivares de cafeeiro produzidas na região sul de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 1, p. 57-61, 2009.

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

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

PEREIRA, M. C.; CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, G. R. de. Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (Coffea arabica L .) in the region of upper Paranaíba. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 32, p. 635–641, 2010.

PETEK, M. R.; SERA, T.; SERA, G. H.; FONSECA, I. C. B.; ITO, D. S. Seleção de progênies de Coffea arabica com resistência simultânea à mancha aureolada e à ferrugem alaranjada. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 65-73, 2006.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Agrometeorological parameters for prediction of the maturation period of Arabica coffee cultivars. **International Journal of Biometeorology**. Holanda , 56(5), 843–51, 2012.

ROGERS, W. J. et al. Biochemical and molecular characterization and expression of the 11S-type storage protein from *Coffea arabica* endosperm. **Plant Physiology and Biochemistry**. Paris, v. 37, p. 261-272, 1999a.

ROGERS, W. J.; MICHAUX, S.; BASTIN, M.; BUCHELI, P. 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, p.115-123, 1999b.

SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 179-199, 2001.

SNYDER, C.H. The extraordinary chemistry of ordinary things. 2.ed. John Wiley & Sons: Nova Iorque, 1995. p. 242-245.

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

TRUGO, L. C.; MACRAE R. A Study of the Effect of Roasting on the Chlorogenic Acid Composition of Coffee Using HPLC. **Food Chemistry**. London, v. 15, p. 219-227, 1984.

ARTIGO 3

**COMPOSIÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS E QUALIDADE DE CAFÉS
ESPECIAIS PRODUZIDOS NO BRASIL**

Versão preliminar de artigo – Sujeito a alterações pelo corpo editorial da revista.

Revista: *European Food Research and Technology* (IF: 1,58)

AUTORES

RESUMO

Apesar de os ácidos graxos serem conhecidos como importantes componentes do sabor e aroma dos cafés, até o momento, nenhum estudo que relacione esses compostos com a qualidade de cafés foi desenvolvido. Considerando a importância da máxima expressão de sabores e aromas em cafés especiais, no presente estudo objetivou-se investigar a relação entre a composição de ácidos graxos e as características sensoriais de diferentes genótipos de Bourbon cultivados sob diferentes condições edafoclimáticas. Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao grupo da cultivar Bourbon. Os genótipos foram avaliados na forma de experimento em campo, nos municípios de Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Gramma, SP. Os ácidos graxos saturados araquídico, esteárico e palmítico são possíveis discriminadores da qualidade de cafés especiais. Os ácidos graxos insaturados elaídico, oleico, linoleico e linolênico se relacionaram com cafés menos intensos em acidez, fragrância, corpo e sabor. O ácido elaídico foi o que mais se relacionou com cafés de qualidade sensorial inferior.

Palavras-chave: Avaliação sensorial. Ambiente. Bourbon. HPLC.

INTRODUÇÃO

O conteúdo de lipídeos em grãos de café varia de 10% a 17%. No entanto, comparativamente aos cafés canéfora, os maiores teores são encontrados nos cafés arábica (FELDMAN; RYDER; KUNG, 1969). A maioria dos lipídeos encontra-se na fração de óleo localizada no endosperma dos grãos (WILSON; PETRACCO; ILLY, 1997). O óleo do café é composto, principalmente, de triacilgliceróis com ácidos graxos, em proporções semelhantes aos encontrados em óleos vegetais comuns comestíveis (SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006).

Os triacilgliceróis são moléculas relativamente grandes que apresentam baixa volatilidade e, portanto, pouco sabor e aroma inerente. Entretanto, óleos e gorduras comestíveis de diferentes fontes naturais têm perfis de *flavor* diferenciados pela presença de compostos voláteis característicos, como produtos da oxidação de lipídeos e impurezas naturais (DHINGRA et al., 1998). Os ácidos graxos também podem contribuir com notas sutis de sabor. Por esse motivo, o aroma e o sabor percebidos nos alimentos costumam ser muito influenciados pelo tipo e pela concentração dos lipídeos presentes. Os lipídeos também influenciam a sensação bucal de muitos alimentos (SAMPAIO et al., 2004; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007).

Os lipídeos desempenham papel importante na qualidade sensorial de várias plantas, tais como soja, cacau e aveia (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999). Os triacilgliceróis são importantes transportadores de aroma no grão de café torrado (PETRACCO, 2005). A composição de ácidos graxos (FA) nos triacilgliceróis determina a geração de produtos de oxidação termicamente induzidos, em especial os aldeídos, que reagem com os intermediários da reação de Maillard, originando compostos de sabor e aroma adicionais ao café (FLAMENT, 2002). Estudos que relacionam o sabor e o aroma com a

composição dos ácidos graxos são mais frequentes em produtos de origem animal (WOOD et al., 2008). Entre os poucos relatos científicos da interferência da composição de ácidos graxos e da qualidade sensorial de produtos de origem vegetal, citam-se os de Gutkoski e El-dash, (1999) e Stephan e Steinhart (2000). Considerando a relevância da qualidade sensorial para a produção de cafés especiais (BORÉM et al., 2013), justifica-se a avaliação da contribuição dos ácidos graxos no sabor e no aroma dos cafés.

A produção de cafés especiais tem se tornado uma das principais estratégias para manter a viabilidade econômica da cafeicultura, principalmente em regiões onde o alto custo de produção torna impraticável a produção de café comum. Assim, a produção de cafés especiais tem sido cada vez mais estimulada, por se tratar de um produto com valor agregado e de alta demanda. O Brasil apresenta imensa diversidade de genótipos de café, cultivados em diferentes regiões do país. Essa variabilidade genética e ambiental, se melhor explorada, pode atender às demandas da cadeia produtiva do café, inclusive quanto aos aspectos relacionados à qualidade.

A qualidade do café é descrita a partir de suas características físicas e sensoriais, podendo também envolver outros aspectos, tais como químicos, sistemas de cultivo, processamento, etc. Todos, entretanto, são dependentes do genótipo e das condições ambientais onde o cafeeiro é cultivado (TARZIA; SCHOLZ; PETKOWICZ, 2010; PEREIRA; CHALFOUN; CARVALHO, 2010; BHUMIRATANA; ADHIKARI; CHAMBERS; 2011; PEZZOPANE et al., 2012; DESSALEGN et al., 2008).

Dentre as cultivares disponíveis para o plantio, a cultivar Bourbon destaca-se pelo elevado potencial para produzir café de excelente qualidade de bebida, devido às suas características sensoriais diferenciadas. Essa cultivar é bastante utilizada para a produção de cafés especiais, em diversas regiões do mundo (FIGUEIREDO, 2010).

As condições ambientais nas quais os produtos são cultivados influenciam diretamente a composição química dos mesmos e, conseqüentemente, a qualidade do produto final.

A influência das condições climáticas durante o desenvolvimento de sementes, especialmente temperatura e precipitação, na composição final dos ácidos graxos, tem sido relatada em muitas oleaginosas (BYFIELD; UPCHURCH, 2007; FOFANA et al., 2006). Diante disso, o conteúdo de ácidos graxos tem sido eficiente na discriminação da origem de vários vegetais, como pistache (ARENA et al., 2007), avelã (AMARAL et al., 2006) e oliva (OLLIVIER et al., 2006). Em alguns trabalhos também há relatos da discriminação de cafés de diferentes origens geográficas em relação ao conteúdo de ácidos graxos (ALVES et al., 2003; JOET et al., 2010; BERTRAND et al., 2008).

No entanto, apesar de os ácidos graxos serem conhecidos como importantes componentes do sabor e aroma dos cafés (JHAM et al., 2008; PETRACCO, 2005; FLAMENT, 2002), até o momento, nenhum estudo que relacione esses compostos com a qualidade do café foi desenvolvido. Considerando a importância da máxima expressão de sabores e aromas em cafés especiais e a influência dos fatores genéticos e ambientais na qualidade de cafés, o presente estudo objetivou investigar a relação entre a composição de ácidos graxos e as características sensoriais de diferentes genótipos de Bourbon cultivados sob diferentes condições edafoclimáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados quatro genótipos de café arábica (*Coffea arabica* L.), sendo um amplamente cultivado no Brasil (Mundo Novo) e três pertencentes ao

grupo da cultivar Bourbon (Tabela 1). Os dados do presente trabalho referem-se às colheitas de três anos agrícolas (2009, 2010 e 2011).

Com base nos resultados obtidos por Figueiredo (2010) e em dados preliminares do presente trabalho, os genótipos estudados foram selecionados a partir de um grupo de 14 genótipos que incluíam 11 genótipos de Bourbon e 3 cultivares comerciais.

A escolha dos genótipos foi realizada visando à redução no número de observações e, com isso, maior controle e compreensão dos fenômenos estudados. O critério utilizado na escolha foram as notas sensoriais médias obtidas nos anos de 2009 e 2010. Foram escolhidos três genótipos de Bourbon e uma cultivar comercial (testemunha). Dentre os Bourbons, foi escolhido um genótipo que apresentou características de cafês especiais (notas acima de 81 pontos), em todos os ambientes estudados, um genótipo que apresentou notas abaixo de 80 pontos em todos os ambientes e um que apresentou nota variável nos diferentes ambientes.

Tabela 1 Genótipos de café arábica presentes no experimento em campo.

Genótipo	Origem
1 Mundo Novo IAC 502/9	Epamig – Machado, MG
2 Bourbon Amarelo IAC J9	IAC – Campinas, SP
3 Bourbon Amarelo*	São Sebastião do Paraíso, MG
4 Bourbon Amarelo*	Carmo de Minas, MG

IAC – Instituto Agronômico de Campinas.

Epamig – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

Origem – refere-se à instituição, cidade e estado (Brasil) onde os genótipos foram coletados para serem utilizados nos experimentos cultivados em Lavras, São Sebastião da Gramma e Santo Antônio do Amparo.

* Trata-se de cafeeiro declarado como Bourbon Amarelo, coletado em diferentes regiões produtoras do Brasil.

Os quatro genótipos estudados foram instalados na forma de experimento em campo desde 2005, no sul do estado de Minas Gerais e na

região Mogiana do estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Lavras, MG; Santo Antônio do Amparo, MG e São Sebastião da Grama, SP.

A região Mogiana, localizada no interior do estado de São Paulo, tem a Mata Atlântica como bioma predominante, com ocorrência de campos rupestres. O sul do estado de Minas Gerais é caracterizado por bioma de transição Cerrado-Mata Atlântica e com ocorrência de campos rupestres. Ambas as regiões destacam-se pela produção de cafês arábica em grande escala. As distintas condições edafoclimáticas dessas importantes regiões produtoras de cafês do Brasil foram representadas e suas principais características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Região geográfica, variáveis climáticas e caracterização dos três ambientes estudados.

Município	Lavras	São Sebastião da Grama	Santo Antônio do Amparo
Região	Sul de Minas	Mogiana Paulista	Sul de Minas
Altitude	919 m	1300 m	1050 m
Temperatura média	20,4 °C	20 °C	19,9 °C
Precipitação média anual	1460 mm	1560 mm	1700 mm
Latitude	21°14'43"S	21°42'38"S	20°91'66"S
Longitude	44°59'59"O	46°49'15"O	44°95'51"O
Tipo de solo	Latossolo Vermelho textura argilosa	Latossolo Amarelo textura média	Latossolo Vermelho textura argilosa

Na Tabela 3 é apresentada a codificação dos genótipos e dos ambientes estudados, utilizada na discussão dos resultados.

Tabela 3 Genótipos e ambientes estudados e seus códigos.

Ambientes	Genótipos
A1 = Lavras	G1 = Mundo Novo IAC 502/9
A2 = São Sebastião da Grama	G2 = Bourbon Amarelo IAC J9
A3 = Santo Antônio do Amparo	G3 = Bourbon Amarelo / Origem SSP
	G4 = Bourbon Amarelo / Origem CM

Colheita e processamento do café

A colheita foi manual e seletiva, quando a maioria dos frutos de cada parcela atingiu o estágio de maturação cereja. Posteriormente, procedeu-se à separação hidráulica dos frutos, por diferença de densidade, em uma caixa d'água adaptada com uma peneira, garantindo completo isolamento dos materiais das diferentes parcelas.

A porção cereja, de maior densidade, foi separada da porção boia, de menor densidade. Embora tenha sido realizada a colheita seletiva dos frutos maduros, uma pequena porção de frutos imaturos ainda era encontrada na porção cereja.

Após a separação hidráulica, procedeu-se a uma nova seleção manual dos frutos, obtendo-se 20 L, garantindo-se a obtenção somente de frutos cereja que, em seguida, foram descascados, em descascador de amostras, obtendo-se o café cereja descascado (CD).

A secagem foi iniciada imediatamente após o processamento. As amostras de café foram secas em peneiras de 1 m² (moldura de madeira e tela com malha de 2,00 x 1,00 mm, fabricadas em fios de polietileno), dispostas

sobre terreiro pavimentado. Foram distribuídos, uniformemente, 7 L de café descascado por peneira, revolvidos 20 vezes ao dia. Na primeira noite após sua distribuição nas peneiras, o café foi mantido aberto e descoberto e, nas noites seguintes, foi coberto com pano. A espessura da camada, equivalente a 7 L.m^{-2} , foi mantida até o café atingir a meia seca, com teor de água de, aproximadamente, 25% (b.u). Em seguida, dobrou-se a espessura da camada de café. Tais procedimentos foram realizados até o café atingir teor de água de 11% (b.u). Todos os procedimentos de colheita e processamento foram realizados segundo Borém (2008).

Preparação das amostras

Após a secagem, as amostras foram embaladas em sacos de papel e revestidas com sacos de plástico, identificadas e armazenadas em câmara com temperatura controlada, a $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por um período de 60 dias. Em seguida, elas foram beneficiadas e os defeitos retirados, visando à uniformização e, sobretudo, à minimização de interferências que não fossem relacionadas ao material genético ou ao ambiente de cultivo. As análises químicas e a torração foram realizadas nos grãos retidos nas peneiras 16 e acima (16, 17 e 18/64 de polegada).

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 freezer, à temperatura de $-80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até a realização das análises.

Teor de água

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado em estufa, a 105 ± 1 °C, por 16 horas \pm 30 minutos, conforme o método padrão internacional da ISO 6673 (International Organization for Standardization – ISO, 1999).

Torração e avaliação sensorial

Todos os procedimentos foram realizados de acordo com os protocolos descritos pela Associação Americana de Cafés Especiais (*Specialty Coffee Association of America*, ou SCAA) (LINGLE, 2011). Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra, em torrador de laboratório Probat TP2 (Curitiba, Brasil), no prazo máximo de 24 horas antes da degustação. A torração foi interrompida quando o café atingiu torra média, determinada visualmente, utilizando-se um sistema de classificação de cor por meio de discos padronizados (SCAA/Agtron Roast Color Classification System; cor de referência nº65 para grãos moídos e 55 para grão inteiro). A temperatura e o tempo de torra foram monitorados por termômetros e cronômetros, respectivamente, respeitando-se a faixa de tempo de torra entre 8 e 12 minutos.

As amostras foram pesadas para uma relação pré-determinada de 8,25 g por 150 ml de água e, em seguida, moídas em moinho de amostras Mahlkönig Guatemala (Hamburg, Alemanha). Dez atributos sensoriais foram avaliados por um painel de juízes treinados e anotados em uma escala de 10 pontos, de acordo com a SCAA (LINGLE, 2011).

Os atributos sensoriais incluídos foram fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global. A nota sensorial final foi gerada a partir do somatório dos atributos avaliados. Em cada avaliação, foram degustadas cinco xícaras de café

representativas de cada genótipo, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições. Cada ambiente foi avaliado separadamente e os resultados da avaliação sensorial foram estabelecidos a partir de uma escala que representa os níveis de qualidade com intervalos de 0,25 pontos.

Além da nota final obtida na avaliação sensorial, os atributos fragrância, acidez, corpo e sabor também foram analisados estatisticamente, visando complementar a análise, considerando que são os principais atributos responsáveis pela distinção de diferentes perfis sensoriais do café.

Extração de lipídeos

As amostras de grãos de café verde (~ 0,25 g) foram pesadas em tubos de microcentrífuga de 1,5 mL e 1,0 mL de hexano foi adicionado em cada um. Os tubos foram, então, colocados em um banho ultrassônico, por 10 minutos, para a extração dos lipídeos. Depois disso, eles foram centrifugados a 6.000 rpm, por 2 minutos. Aliquotas de 500 µL de cada sobrenadante em tubo criogênico de 2,0 mL foram evaporadas, hidrolizadas, metiladas e analisadas por cromatografia gasosa.

Hidrólise de lipídeos

Dissolveu-se, em tubo criogênico de capacidade de 2 mL, ~10 mg do óleo 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 em um forno de micro-ondas doméstico (Panasonic Piccolo), 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 microcentrífuga e seca por evaporação, obtendo-se, assim, os ácidos graxos livres (CHRISTIE, 1989, adaptado).

Metilação dos ácidos graxos

Os ácidos graxos livres foram metilados com 100 μL BF_3 /metanol (14%) e aquecidos, durante 10 minutos, em banho de água, a 80 $^\circ\text{C}$, sendo, em seguida, diluídos com 300 μL de metanol e analisados por cromatografia gasosa.

Cromatografia gasosa

As análises foram realizadas em um cromatógrafo a gás HP5890 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 $^\circ\text{C}$, 1 minuto, 7 $^\circ\text{C}/\text{min}$ até 220 $^\circ\text{C}$; injetor (split de 1/50), a 250 $^\circ\text{C}$ e detector a 250 $^\circ\text{C}$; Hidrogênio como gás de arraste (2 mL/min) e volume de injeção de 2 μL . A identificação dos picos foi feita por comparação com padrões de ácidos graxos metilados Supelco37. Os resultados dos teores de ácidos graxos se referem aos anos de 2010 e 2011. Os teores finais dos ácidos graxos foram dados em porcentagem de matéria seca (% m.s). Os seguintes ácidos graxos foram quantificados: palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), elaídico (C18:1t), oleico (C18:1c), linoleico (C18:2), araquídico (C20:0) e linolênico (C18:3).

Análise estatística

Foram avaliados quatro genótipos de café arábica, em três ambientes de produção. Os três experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com três repetições em campo e parcelas constituídas por dez plantas.

Os resultados dos atributos sensoriais e conteúdos dos ácidos graxos inicialmente foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando diferenças significativas no teste F foram detectadas, o teste de Scott-Knott foi aplicado, a 5% de significância, utilizando-se o programa SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

Visando melhor compreensão do efeito de todas as variáveis estudadas, os dados foram submetidos à análise multivariada. A discriminação entre as amostras foi realizada pela análise dos componentes principais (ACP), a partir da interação entre genótipos e ambientes, resultando no agrupamento dos pontos de acordo com a composição sensorial e química, utilizando o software estatístico Chemoface (NUNES et al., 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição química e sensorial

Na Figura 1 tem-se um cromatograma típico das amostras de café analisadas. Os picos dos ácidos graxos, com seus respectivos tempos de retenção podem ser observados. Os tempos de retenção variaram de, aproximadamente, 4 minutos e 30 segundos a 8 minutos. Cromatograma semelhante foi encontrado por Martín et al. (2001).

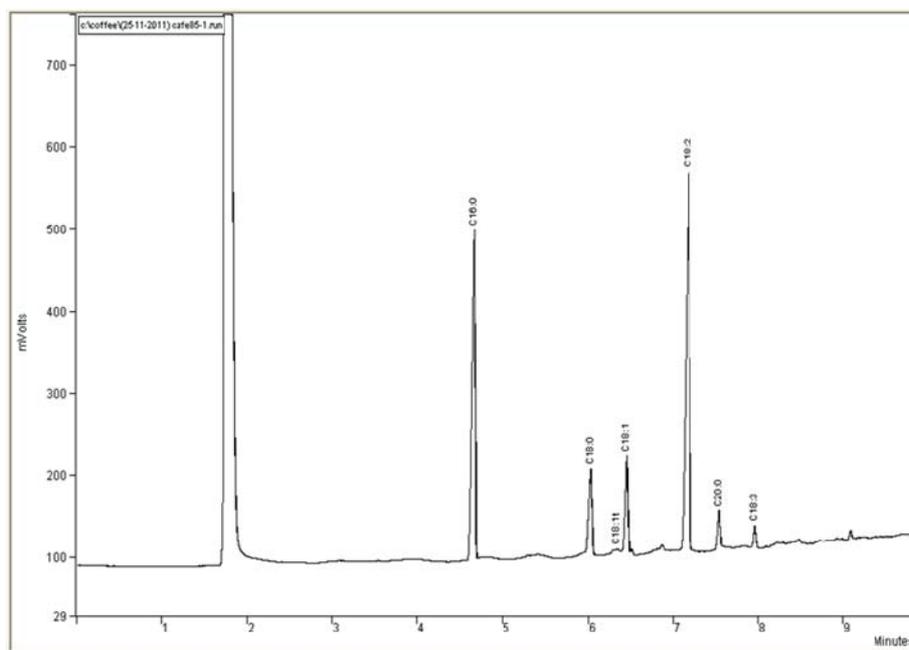


Figura 1 - Cromatograma típico dos ácidos graxos quantificados nos cafés analisados, palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), elaídico (C18:1t), oleico (C18:1c), linoleico (C18:2), araquídico (C20:0) e linolênico (C18:3).

Na Tabela 4 são apresentados os teores de ácidos graxos (%m.s), as notas dos atributos sensoriais analisados e nota final da análise sensorial para cada genótipo e para cada ambiente estudado, bem como para a interação desses fatores.

Os ácidos graxos linoleico (C18:2) e palmítico (C16:0) foram os predominantes. Quantidades moderadas dos ácidos esteárico (C18:0), oleico (C18:1c) e araquídico (C20:0) e valores menores que 1,6% dos ácidos linolênico (C18:3) e elaídico (C18:1t) também foram encontrados (Tabela 4). A composição de ácidos graxos obtida nos grãos crus de café, no presente estudo, está de acordo com valores reportados em trabalhos anteriores (JOET et al., 2010; MARTÍN et al., 2001; BERTRAND et al., 2008; JHAM et al., 2008).

A maioria dos ácidos graxos analisados não proporcionou a diferenciação dos genótipos estudados ($p > 0,05$), exceto os ácidos linoleico (C18:2) e araquídico (C20:0) (Tabela 4). Jham et al. (2008) também não encontraram diferença significativa, entre as variedades de café analisadas, em relação ao conteúdo de ácidos graxos.

Martín et al. (2001) determinaram o conteúdo de ácidos graxos em cafés por cromatografia a gás capilar. O conteúdo desses ácidos graxos permitiu diferenciar cafés arábicas de canéforas. Os ácidos graxos que mais contribuíram para a discriminação das espécies foram o oleico, linolênico, linoleico e mirístico (MARTÍN et al., 2001).

Os ambientes analisados diferiram, estatisticamente, em relação à maioria dos ácidos graxos, exceto elaídico (C18:1t) e araquídico (C20:0). O ambiente 3 (A3) foi o que mais se diferenciou dos demais ambientes, em relação aos ácidos graxos (Tabela 4).

Joet et al. (2010) relataram a influência das condições climáticas, especialmente da temperatura ambiental, sobre as principais vias metabólicas do café, dentre elas o conteúdo de ácidos graxos. Segundo estes autores, a porcentagem de ácido linoleico aumentou com temperaturas decrescentes, enquanto a porcentagem do seu precursor, o ácido oleico, diminuiu. A temperatura tem demonstrado um efeito intenso sobre a composição de ácidos graxos em sementes de culturas tolerantes ao frio, tais como soja e colza (BYFIELD; UPCHURCH, 2007; DENG; SCARTH, 1998).

Tabela 4 Efeito dos genótipos, dos ambientes e da interação, nos atributos sensoriais, na nota sensorial final e no teor de ácidos graxos¹ dos grãos de café: média e probabilidade de significância (*F*) determinada por análise de variância (ANAVA) de três ambientes e 4 genótipos.

genótipo/ambiente	C16:0	C18:0	C18:1t	C18:1	C18:2	C20:0	C18:3	fragrância	sabor	acidez	corpo	final	
G1	34,47	8,93	1,29	8,94	39,70a	3,03a	1,51	7,25a	7,11a	7,25a	7,37b	80,38a	
G2	34,53	9,29	1,03	8,66	39,25b	3,10a	1,60	7,60b	7,39b	7,38b	7,37b	81,61b	
G3	35,02	9,40	1,11	8,67	38,61b	3,13a	1,55	7,58b	7,44b	7,43b	7,33b	81,76b	
G4	34,03	9,13	1,30	8,54	40,28a	2,82b	1,54	7,26a	7,07a	7,15a	7,17a	79,87a	
<i>F</i>	0,09	0,05	0,18	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
A1	35,56a	9,29a	1,15	8,63a	38,37a	3,09	1,51a	7,36	7,20	7,22	7,24	80,59	
A2	35,02a	9,37a	1,16	8,47a	39,33b	2,98	1,49a	7,52	7,35	7,37	7,36	81,42	
A3	32,95b	8,91b	1,25	9,02b	40,68c	2,99	1,65b	7,38	7,22	7,32	7,33	80,70	
<i>F</i>	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,20	0,00	0,11	0,20	0,07	0,12	0,12	
A1	xG1	35,08a	9,00	1,35	8,85	38,58a	3,22a	1,48	7,09a	6,95a	7,12a	7,25b	79,64a
	xG2	35,68a	9,29	0,87	8,67	38,40a	3,12a	1,60	7,53b	7,25b	7,27b	7,31b	80,93b
	xG3	36,73b	9,64	1,19	8,42	36,68b	3,23a	1,47	7,58b	7,51b	7,46b	7,36b	81,96b
	xG4	34,75a	9,27	1,17	8,56	39,83a	2,79b	1,50	7,22a	7,07a	7,02a	7,05a	79,86a
<i>F</i>		0,02	0,23	0,29	0,39	0,00	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,05	0,03
A2	xG1	34,95	9,10	1,12	8,66	39,81	2,90a	1,46	7,62b	7,40b	7,54b	7,40	81,89b
	xG2	34,94	9,75	1,10	8,50	38,68	3,13b	1,48	7,62b	7,45b	7,35b	7,37	81,76b
	xG3	34,98	9,42	0,95	8,60	39,31	3,08b	1,55	7,68b	7,51b	7,45b	7,37	82,28b
	xG4	35,24	9,22	1,48	8,12	39,50	2,79a	1,47	7,19a	7,03a	7,15a	7,30	79,77a
<i>F</i>		0,96	0,16	0,21	0,16	0,56	0,04	0,33	0,01	0,04	0,03	0,87	0,02
A3	xG1	33,40	8,71	1,40	9,33	40,72	2,96	1,61	7,04a	6,99a	7,10	7,47a	79,63a
	xG2	32,97	8,86	1,12	8,80	40,67	3,06	1,73	7,64b	7,48b	7,52	7,42a	82,15b
	xG3	33,35	8,93	1,21	9,00	39,85	3,07	1,62	7,48b	7,29b	7,36	7,26b	81,06b
	xG4	32,12	9,16	1,26	8,94	41,50	2,86	1,64	7,36b	7,12a	7,28	7,15b	79,98a
<i>F</i>		0,19	0,52	0,73	0,22	0,26	0,42	0,14	0,00	0,04	0,06	0,02	0,02

¹ Ácidos graxos: palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), eláidico (C18:1t), oleico (C18:1c), linoleico (C18:2), araquídico (C20:0) e linolênico (C18:3). G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Grama, A3= Santo Antônio do Amparo.

No entanto, estudos sobre a influência das condições climáticas sobre a composição dos ácidos graxos de sementes sensíveis ao frio, como o café, são raros (JOET et al., 2010). No presente trabalho, houve diferença significativa entre os teores dos ácidos linoleico e oleico, nos ambientes estudados. O ácido graxo linoleico foi o único, dentre os ácidos graxos estudados, que permitiu a diferenciação estatística dos três ambientes.

Para alguns ácidos graxos, a interação entre genótipo e ambiente foi significativa, permitindo a distinção de alguns genótipos nos ambientes estudados (Tabela 4). Também se observa que houve interação significativa entre genótipos e ambientes, para todos os atributos sensoriais (fragrância, sabor, acidez e corpo) e para a nota sensorial final, enfatizando o efeito da interação entre genótipo e ambiente na qualidade final do café.

Vários elementos podem ser discutidos em relação à qualidade, tais como aspectos sensoriais, químicos, sistemas de cultivo, etc. Todos, entretanto, se inserem na regra geral da genética e do melhoramento de plantas, cuja característica final depende da constituição genética ou genótipo, das condições ambientais a que esse genótipo está submetido e da interação entre eles (LEROY et al., 2006; PEREIRA; CHALFOUN; CARVALHO, 2010). Segundo Alpizar e Bertrand (2004), o fator genético e as condições ambientais são os elementos mais importantes na determinação da qualidade do café.

Em função da complexidade dos aspectos sensoriais envolvidos na caracterização dos cafés especiais, assim como sua relação com os ácidos graxos analisados, verifica-se limitação na interpretação dos resultados por meio da análise univariada. São apresentados, na Figura 2, os resultados multivariados dos dados realizados por meio da análise de componentes principais (PCA).

Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) foi empregada para interpretar os resultados das análises químicas e sensorial das amostras de quatro genótipos (G) de café cultivadas nos três ambientes (A). Foi gerado um biplot (Figura 2) em função dos teores dos ácidos graxos, da nota sensorial final e dos atributos sensoriais.

As duas primeiras componentes principais explicaram 73,21% da variabilidade entre os genótipos, sendo 46,52% pela primeira componente principal e 26,69%, pela segunda componente principal (Figura 2).

Os dados de cada ponto (interação genótipo \times ambiente, A_xG_y) foram representados como a média dos escores, calculados com base nas três repetições. Pontos com similaridades em um ou mais aspectos avaliados (teor de ácidos graxos e/ou atributos sensoriais) se aproximam. Os vetores representativos de cada variável estudada com direção aos pontos (A_xG_y) detectados pelos componentes principais indicam quais aspectos foram determinantes para os agrupamentos formados. As equações dos componentes principais foram estimadas de acordo com cada coeficiente de correlação apresentado na Tabela 5.

Tais resultados revelam, de maneira inédita, correlação entre as características sensoriais e a composição de ácidos graxos em genótipos de cafés Bourbon, promissores para a produção de cafés especiais.

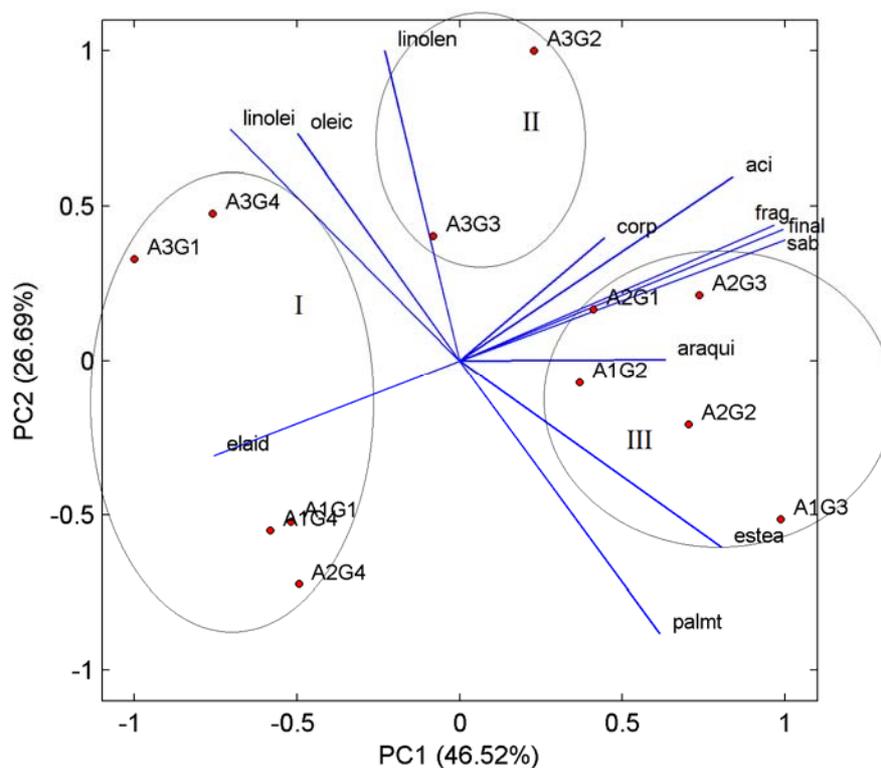


Figura 2 - Biplot dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais para dados de quatro genótipos (G) e três ambientes (A), em função do conteúdo de ácidos graxos, da nota sensorial final e dos atributos sensoriais. Ácidos graxos: palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), elaídico (C18:1t), oleico (C18:1c), linoleico (C18:2), araquídico (C20:0) e linolênico (C18:3), G1= Mundo Novo IAC 502/9, G2= Bourbon Amarelo IAC J9, G3= Bourbon Amarelo/Origem SSP, G4= Bourbon Amarelo/Origem CM, A1= Lavras, A2= São Sebastião da Grama, A3= Santo Antônio do Amparo.

Nota-se, pela separação no primeiro eixo PC1, a formação de três grupos distintos: o primeiro (I), com os pontos alocados à esquerda no biplot (A1G1, A1G4, A3G1, A2G4 e A3G4); o segundo (II), com pontos alocados na parte central no biplot (A3G3 e A3G2) e o terceiro (III), com pontos à direita no biplot (A2G3, A1G3, A2G1, A1G2 e A2G2).

Os atributos sensoriais foram os que mais contribuíram para a discriminação dos grupos, em função do primeiro componente principal (Tabela 5). Os cafés alocados no grupo I têm menor intensidade de corpo, acidez, fragrância e sabor e menores notas sensoriais finais, ao contrário dos cafés alocados no grupo III (Figura 2).

Figueiredo (2013 – dados não publicados – artigo 1), avaliando sensorialmente os mesmos genótipos e ambientes do presente estudo, discriminou o ambiente São Sebastião da Grama e os genótipos Bourbon Amarelo IAC J9 (G2) e Bourbon Amarelo (G3) como sendo favoráveis (superiores) para a produção de cafés especiais.

Os ácidos graxos que apresentaram maior correlação com o primeiro componente principal foram o araquídico (C20:0), o eláidico (C18:1t), o esteárico (C18:0) e o palmítico (C 16:0) (Tabela 5). Cafés com melhores características sensoriais (grupo III) correlacionaram-se positivamente com os ácidos graxos araquídico, esteárico e palmítico e negativamente com o ácido eláidico. Comportamento inverso foi observado para os cafés alocados no grupo I (Figura 2, Tabela 5).

A composição de ácidos graxos depende de vários fatores, principalmente de espécies e variedades (MURKOVIC et al., 1996; AMARAL et al., 2006). Logo, a comparação de padrões de ácidos graxos é uma ferramenta útil para a discriminação de cafés (DAGNE; JONSSON, 1997). No presente estudo, os ácidos graxos araquídico (C20:0), eláidico (C18:1t), esteárico (C18:0) e palmítico (C 16:0) se correlacionaram com as características sensoriais dos cafés, sugerindo, portanto, que podem ser possíveis discriminadores da qualidade de cafés.

O ácido esteárico é um componente comum em muitos alimentos, como as carnes vermelhas e os produtos lácteos. Ele tem muitas características desejáveis de sabor e textura comuns aos ácidos graxos saturados de cadeia

longa (MONSMA; NEY, 1993). Já foi relatado que a falta de sabor e um desequilíbrio nos alimentos estão associados com baixos níveis de ácidos graxos saturados, como o butanoico e hexanoico (BANKS; BRECHANY, 1989).

Todos os ácidos graxos que apresentaram correlação negativa com o primeiro componente principal, e conseqüentemente com a qualidade sensorial, são ácidos graxos insaturados (ácidos elaídico, oleico, linoleico e linolênico) (Tabela 5). Em vários estudos já foi relatada a propensão dos ácidos graxos insaturados à oxidação, que conduz ao desenvolvimento de rancidez e, em muitos casos, à formação de aromas desagradáveis, tanto em óleos vegetais (JHAM; MULLER; CECON, 2008) como animais (WOOD et al., 2003). Portanto, tais resultados sugerem a associação de ácidos graxos insaturados com menores intensidades dos atributos de acidez, fragrância, sabor e corpo, que são bastante valorizados em cafés especiais.

O ácido graxo elaídico foi o que mais se destacou em relação aos ácidos graxos insaturados. É possível observar o seu comportamento inverso à nota final sensorial (Figura 2).

Todos os cafés alocados no grupo I apresentaram maiores teores do ácido graxo elaídico e menores intensidades dos atributos sensoriais e nota final sensorial. O ácido graxo elaídico é isômero *trans* do ácido graxo oleico. Os isômeros geométricos *trans* de ácidos graxos insaturados são formados no processo de fritura, assim como no refino de óleos e no processo de hidrogenação, por mecanismo induzido termicamente (SEBEDIO et al., 1996). Tais compostos são amplamente estudados em relação aos aspectos tecnológicos e nutricionais (STENDER; ASTRUP; DYERBERG, 2008), mas não existem relatos da relação do ácido graxo elaídico com características sensoriais de alimentos. Embora tenha ocorrido em pequenas concentrações nos cafés (Tabela 4), no presente estudo, o teor de ácido elaídico apresentou alta correlação com os aspectos sensoriais dos cafés avaliados.

O atributo corpo se correlacionou positivamente com o primeiro componente principal (PC1), assim como os ácidos esteárico, araquídico e palmítico (Figura 2, Tabela 5). O óleo do café é composto, principalmente, de triacilgliceróis com ácidos graxos em proporções semelhantes às encontradas em óleos vegetais comuns comestíveis (SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006). Os óleos presentes no café têm a capacidade de cobrir a língua durante a ingestão, fornecendo uma sensação bucal oleosa e cremosa, característica do corpo da bebida (ILLY E VIANI, 2005). Logo, verifica-se a contribuição dos ácidos esteárico e araquídico para o possível aumento do corpo da bebida do café e, sobretudo, para o aumento do sabor da mesma.

Os óleos do café também carregam consigo compostos aromáticos presentes na bebida, que podem contribuir para o aumento ou a redução da qualidade, em função de sua constituição (AVELINO et al., 2005; SCAA, 2009). Por se correlacionarem positivamente com a fragrância do café, os ácidos esteárico e araquídico podem estar também associados com compostos aromáticos favoráveis à qualidade. Em oposição, o ácido elaídico sugere relação com compostos aromáticos prejudiciais à qualidade final do café.

Os ácidos graxos linoleico, oleico e linolênico apresentaram contribuições mais significativas para o segundo componente principal (PC2) (Tabela 5). O segundo componente principal permitiu diferenciar os pontos (genótipo χ ambiente) em função desses ácidos graxos, dentro de cada grupo inicialmente formado.

Os ácidos graxos linoleico, oleico, linolênico e palmítico permitiram a discriminação do ambiente 3 (A3) em relação aos demais ambientes. Independentemente do genótipo avaliado, os cafés cultivados nesse ambiente se correlacionaram positivamente com teores de ácidos linoleico (C18:2), oleico (C18:1c) e linolênico (C18:3), e negativamente com teores de ácido palmítico (C16:0).

Tabela 5 Correlações entre os parâmetros avaliados (ácidos graxos, nota final sensorial e atributos sensoriais) e os dois primeiros componentes principais.

Parâmetros	PC1 (46,52%)	PC2 (26,69%)
Fragrância	0,97	0,44
Sabor	1,00	0,39
Acidez	0,84	0,59
Corpo	0,44	0,40
Final	0,99	0,42
Palmítico	0,62	-0,88
Esteárico	0,80	-0,60
Elaídico	-0,76	-0,31
Oleico	-0,50	0,73
Linoleico	-0,61	0,75
Araquídico	0,63	0,00
Linolênico	-0,23	1,00

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 da maioria dos ácidos graxos estudados (ácidos palmítico, margárico, esteárico, linoleico, linolênico, araquídico e eicosenoico) para a diferenciação de ambientes de cafés. Tal 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). A influência das condições climáticas, durante o desenvolvimento de sementes, especialmente temperatura e, em menor extensão, precipitação, na composição final dos ácidos graxos, tem sido relatada em muitas oleaginosas (BYFIELD; UPCHURCH, 2007; FOFANA et al., 2006) e espécies de plantas modelo (BLODNER et al., 2007). Portanto, verifica-se o potencial dos ácidos graxos linoleico, oleico e

linolênico, tanto para a discriminação do ambiente 3 quanto para a caracterização desse ambiente em relação aos atributos sensoriais avaliados, uma vez que esses ácidos graxos estão associados negativamente com os atributos acidez, fragrância, corpo e sabor.

CONCLUSÕES

Os atributos sensoriais foram os maiores discriminadores dos cafés especiais.

Os ácidos graxos saturados araquídico, esteárico e palmítico são possíveis discriminadores da qualidade de cafés especiais, indicando melhor qualidade sensorial.

Os ácidos graxos insaturados, eláidico, oleico, linoleico e linolênico se relacionaram com cafés menos intensos em acidez, fragrância, corpo e sabor.

O ácido eláidico foi o que mais se relacionou com cafés de qualidade sensorial inferior.

Os ácidos graxos oleico, linoleico e linolênico contribuíram para a discriminação do ambiente Santo Antônio do Amparo.

REFERÊNCIAS

ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 20. , 2004, Bangalore. **Proceeding...** Bangalore: Asic, 2004. CD-ROM.

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, p. 511-517, 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. 449-56. 2006.

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, p. 403-408, 2007.

AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitudeterroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. Londres, v. 85, n. 11, p. 1869-1876, 2005.

BANKS, J.M.;BRECHANY, E.Y. ; CHRISTIE, W.W. The production of low fat Cheddar cheese types. **Journal of the Society of Dairy Technology**, London, v. 42, p. 6-9, 1989.

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

BHUMIRATANA, N.; ADHIKARI, K.; CHAMBERS, E. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. **LWT - Food Science and Technology**. London, v. 44, p. 2185–2192, 2011.

BLODNER, C. et al. Warm and cold parental reproductive environments affect seed properties, fitness, and cold responsiveness in *Arabidopsis thaliana* progenies. **Plant, Cell and Environment**. Oxford, v. 30, p. 165-175, 2007.

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. **Processamento do café**. In: _____ (Ed.). Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.

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. 2007.

CHRISTIE, W. W. Gas Chromatography and Lipids, Pergamon Press: Oxford, 1989.

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, p. 274-278, 1997.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's Food Chemistry**. New York: CRC Press, 2007, 1144p.

DENG, X.; SCARTH, R. Temperature effects on fatty acid composition development of low-linolenic oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Journal of the American Oil Chemists Society**. Chicago, v. 75, n. 7, p. 759-766, 1998.

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, p. 1726-1730, 2008.

DHINGRA, O.D.; JHAM, G.; NAPOLEÃO, I. T. Ergosterol accumulation and oil quality changes in stored soybean invaded by *Aspergillus ruber* (A. glaucus group). **Mycopathologia**, Springer, v.143, n. 2, p.85-91, 1998.

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, 1969.

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

FIGUEIREDO, L. P. **Perfil sensorial e químico de genótipos de cafeeiro Bourbon de diferentes origens geográficas**. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

FLAMENT, I. **Coffee flavour chemistry**. Chichester, UK: John Wiley & Sons. 2002. 410p.

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, p. 705-712, 2006.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Efeito do cozimento por extrusão na estabilidade oxidativa de produtos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p.119-127, 1999.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Green coffee-determination of loss mass at 105°C: ISO 6673: 2003. Switzerland, 1999.

JHAM, G. N., MULLER, H. V., CECON, P. Triacylglycerol molecular species variation in stored coffee beans determined by reverse-high-performance liquid chromatography/refractive index detector. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 44, p. 82-89, 2008.

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

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

LEROY, T. et al. Genetics of coffee quality. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 229-242, 2006.

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, Califórnia, 2011. 66 p.

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

MONSMA, C.C.; NEY, D.M. Interrelationship of stearic acid content and triacylglycerol composition of lard, beef tallow and cocoa butter in rats. **Lipids**, v.28, p.539-547, 1993.

MURKOVIC, M. et al. Variability of fatty acid content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Lebensm Unters Forsch*. Heidelberg, v. 203, p. 216-219, 1996.

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

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, p. 382-393, 2006.

PEREIRA, M. C.; CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, G. R. de. Multivariate analysis of sensory characteristics of coffee grains (*Coffea arabica* L.) in the region of upper Paranaíba. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v.32, p. 635-641, 2010.

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

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Agrometeorological parameters for prediction of the maturation period of Arabica coffee cultivars. **International Journal of Biometeorology**. Lisse, v.56, p. 843-51, 2012.

SAMPAIO, G.R. et al. Effect of fat replacers on the nutritive value and acceptability of beef frankfurters. **Food Composition and Analysis**, v.18, p. 469-474, 2004.

SEBEDIO, J.L. et al. Formation of fatty acid geometrical isomers and of cyclic fatty acid monomers during the finish frying of frozen prefried potatoes. **Food Research International**. Barking, v. 29, p. 109-116, 1996.

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

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

STENDER, S.; ASTRUP, A.; DYERBERG, J. Ruminant and industrially produced trans fatty acids: health aspects. **Food and Nutrition Research**. San Diego, v.52, p. 1-8, 2008.

STEPHAN, A.; STEINHART, H. Bitter taste of unsaturated free fatty acids in emulsions: contribution to the off-flavour of soybean lecithins. **European Food Research and Technology**. Heidelberg, v. 212, p. 17-25, 2000.

TARZIA, A.; SCHOLZ, M. B. D. S.; PETKOWICZ, C. L. D. O. Influence of the postharvest processing method on polysaccharides and coffee beverages. **International Journal of Food Science and Technology**. Oxford, v. 45, p. 2167–2175, 2010.

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: 17TH INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON THE CHEMISTRY OF COFFEE, 92-9., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: ASIC, 1997.

WOOD, J. D. et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**. Barking, v.78, p. 343-358, 2008.