

ANÁLIA LÚCIA VIEIRA PACHECO

**DESENVOLVIMENTO REPRODUTIVO E QUALIDADE DE
CAFÉ SOMBREADO SUBMETIDO A PREPARO NATURAL OU
DESPOLPADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P116d Pacheco, Anália Lúcia Vieira, 1984-
2019 Desenvolvimento reprodutivo e qualidade de café
sombreado submetido a preparo natural ou despulpado / Anália
Lúcia Vieira Pacheco. – Viçosa, MG, 2019.
xi, 99 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Sistemas de cultivo. 3. Café -
Tecnologia pós-colheita. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.73

ANÁLIA LÚCIA VIEIRA PACHECO


**DESENVOLVIMENTO REPRODUTIVO E QUALIDADE DE
CAFÉ SOMBREADO SUBMETIDO A PREPARO NATURAL OU
DESPOLPADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,
para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 25 de fevereiro de 2019.




Marcelo de Freitas Ribeiro



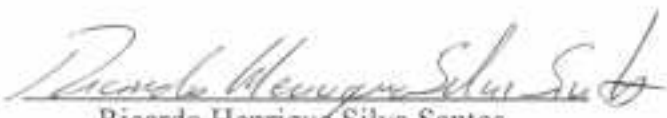
José Luis dos Santos Rufino



Ney Sussumu Sakiyama
(Coorientador)



Herminia Emilia Pietro Martinez
(Coorientadora)



Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

Humano amor de Deus

Tens o dom de ver estradas
Onde eu vejo o fim
Me convences quando falas
Não é bem assim
Se me esqueço, me recordas
Se não sei, me ensinas
E se perco a direção
Vens me encontrar

Tens o dom de ouvir segredos
Mesmo se me calo
E se falo me escutas
Queres compreender
Se pela força da distância
Tu te ausentas
Pelo poder que há na saudade
Voltarás

Quando a solidão doeu em mim
Quando meu passado não passou por mim
Quando eu não soube compreender a vida
Tu vieste compreender por mim

**Quando os meus olhos não podiam ver
Tua mão segura me ajudou a andar**
Quando eu não tinha mais amor no peito
Teu amor me ajudou a amar

Quando o meu **sonho** vi desmoronar
Me trouxeste outros pra recomeçar
**Quando me esqueci que era alguém na vida
Teu amor veio me lembrar**

Que Deus me ama, que não estou só
Que Deus cuida de mim
Quando fala pela tua voz
Que me diz: **Coragem**

(Autor: Padre Fábio de Melo)

À minha mãe Antônia Clara
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar e me dar forças quando tudo parecia desmoronar.

À Santa Rita de Cássia, advogada dos casos difíceis.

À UFV por me receber e me preparar desde a graduação até agora.

A todos os professores que passaram por minha vida.

À sociedade Brasileira, por todos os anos de formação em instituições públicas de ensino.

Ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade de realizar o curso.

Ao CNPq e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À minha mãe, Antônia Clara, por ter dedicado toda sua vida à minha educação, ao meu bem-estar e felicidade.

Às minhas irmãs, Ana e Bel, ao meu irmão Edgard, e às minhas sobrinhas Carol, Camila e Romana, pelo amor e cumplicidade existente entre nós, o que me torna uma pessoa mais feliz.

À Jorgete pela amizade, risadas, conversas e a enorme ajuda na colheita e processamento do café, além de todo apoio emocional ao longo de todos esses anos.

Ao professor Ricardo pela orientação e paciência em todas as etapas deste projeto.

Aos meus coorientadores, os professores Hermínia e Ney pela disponibilidade e correções indispensáveis a este trabalho.

Aos pesquisadores Marcelo e Rufino, por toda ajuda, disponibilidade e importantes correções tanto na qualificação, quanto nesta Tese.

Aos amigos e parceiros do Laboratório de Agroecologia: Mariana, João Geraldo, Chiquinho, Maristela, Débora, Adalgisa, Galdino, Rodrigo, Fábio, Izabel, Amanda, Lorena, Luís, Santiago, Isauro, Ivan, Miguel, Noah, por toda ajuda na colheita do café e nas demais fases deste projeto.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho: Muito obrigada!

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT | x |
| INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| METODOLOGIA..... | 6 |
| 1.0. Localização da lavoura | 6 |
| 1.1. Instalação da tela sombreadora e determinação da radiação solar | 6 |
| 1.2. Monitoramento da temperatura do ar | 6 |
| 1.3. Avaliação do desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro | 7 |
| 1.3.1 Maturação dos frutos do cafeeiro a pleno sol e sombreado | 8 |
| 1.4. Colheita e processamento pós-colheita do café..... | 8 |
| 1.4.1. Safra 2015/16 | 8 |
| 1.4.2. Safra 2016/17 | 10 |
| 1.5. Teor de água nos grãos de café..... | 11 |
| 1.6. Produção e rendimento | 12 |
| 1.6.1 Produção de café fresco..... | 12 |
| 1.6.2 Café beneficiado..... | 12 |
| 1.6.3 Rendimento do café beneficiado | 12 |
| 1.7. Classificação física dos grãos | 12 |
| 1.7.1. Tipo do café..... | 12 |
| 1.7.2. Grãos brocados, pretos, verdes, ardidos e mal granados | 13 |
| 1.7.3. Classificação por peneiras | 13 |
| 1.7.4. Peso de 1000 sementes | 13 |
| 1.8. Composição química e físico-química dos grãos de café beneficiados..... | 13 |
| 1.8.1. Açúcares solúveis totais, redutores e não-redutores..... | 13 |

| | |
|--|----|
| 1.8.2. Acidez total titulável | 16 |
| 1.8.3. Potencial hidrogeniônico (pH) | 16 |
| 1.8.4. Índice de coloração..... | 16 |
| 1.8.5. Fenóis totais..... | 16 |
| 1.8.6. Condutividade elétrica e potássio lixiviado | 17 |
| 1.9. Análise sensorial da bebida do café..... | 18 |
| 2.0. Análise dos dados | 19 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 21 |
| Capítulo 1: Desenvolvimento reprodutivo e produção do cafeeiro arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento..... | 27 |
| 1.0 Introdução..... | 28 |
| 2.0 Resultados e Discussão..... | 30 |
| 2.1. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro | 30 |
| 2.1.1. Maturação dos frutos do cafeeiro | 36 |
| 2.2. Produção e rendimento do cafeeiro | 39 |
| 2.2.1. Produção de café fresco..... | 39 |
| 2.2.2. Café beneficiado..... | 39 |
| 2.2.3. Rendimento | 40 |
| 3.0 Conclusão | 41 |
| Referências bibliográficas | 41 |
| Capítulo 2: Qualidade física de grãos de café arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento..... | 46 |
| 1.0 Introdução..... | 47 |
| 2.0 Resultados e Discussão..... | 49 |
| 2.1. Tipo do café..... | 49 |
| 2.2. Grãos atacados por <i>Hypothenemus hampei</i> | 50 |

| | |
|--|----|
| 2.3. Grãos pretos, verdes, ardidos e mal granados | 53 |
| 2.4. Classificação por peneiras | 54 |
| 2.5. Peso de mil sementes..... | 56 |
| 3.0 Conclusão | 57 |
| Referências bibliográficas | 57 |
| Capítulo 3: Composição química e físico-química do café grão cru cultivado sob sombreamento e submetido a diferentes processamentos pós-colheita..... | 62 |
| 1.0 Introdução..... | 63 |
| 2.0 Resultados e Discussão..... | 65 |
| 2.1. Açúcares solúveis totais, redutores e não-redutores..... | 65 |
| 2.2. Acidez total titulável e pH..... | 68 |
| 2.3. Índice de coloração..... | 70 |
| 2.4. Fenóis totais..... | 72 |
| 2.5. Condutividade elétrica e potássio lixiviado | 73 |
| 3.0 Conclusão | 75 |
| Referências bibliográficas | 75 |
| Capítulo 4: Qualidade sensorial de café natural e cereja despulpado cultivado a pleno sol e sob sombreamento | 81 |
| 1.0 Introdução..... | 82 |
| 2.0 Resultados e Discussão..... | 84 |
| 3.0 Conclusão | 88 |
| Referências bibliográficas | 89 |
| DISCUSSÃO GERAL..... | 93 |
| ANEXOS..... | 95 |

RESUMO

PACHECO, Anália Lúcia Vieira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Desenvolvimento reprodutivo e qualidade de café sombreado submetido a preparo natural ou despolpado.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Hermínia Emília Pietro Martinez e Ney Sussumu Sakiyama.

O cafeeiro arábica é uma espécie originária de regiões de sub-bosque na Etiópia e capaz de se adaptar, crescer e produzir em condições de sombreamento. Entretanto, de acordo com a altitude do local de cultivo, intensidade de radiação solar e práticas de manejo do sistema, o sombreamento pode causar decréscimos na produção, além de influenciar o desenvolvimento reprodutivo dos cafeeiros alterando a maturação dos frutos. Em condições de elevação da temperatura do ar e menor disponibilidade hídrica, o sombreamento pode ser uma alternativa para o cultivo do cafeeiro, por atenuar a radiação incidente sobre as plantas e reduzir a temperatura máxima do ar. Além disso, sob sombreamento os grãos são maiores e mais pesados, com menos defeitos, o que pode influenciar o preço recebido pelos agricultores. O processamento pós-colheita pode alterar a composição química e físico-química dos grãos, influenciando a qualidade sensorial da bebida. Nesse contexto, foi conduzido um estudo para se avaliar os efeitos do sombreamento sobre o desenvolvimento reprodutivo, produção e qualidade física dos grãos; posteriormente, foram avaliados os efeitos do sombreamento e do processamento pós-colheita sobre a composição química e físico-química dos grãos, e qualidade sensorial da bebida. Para isso, cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851 foram sombreados com malhas sombreadoras com bloqueio de 49,1% da radiação global incidente. Algumas características foram submetidas à estatística descritiva, outras a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. O sombreamento gerou microclima mais ameno com atenuação da radiação global incidente sobre as plantas, da temperatura máxima e aumento da temperatura mínima na área. O sombreamento atrasou a maturação dos frutos e aumentou o rendimento dos grãos, entretanto não houve influência sobre a produção dos cafeeiros. O sombreamento não promoveu diferença quanto ao tipo do café e quanto aos defeitos grãos brocados, verdes e ardidos, em duas safras consecutivas. O percentual de grãos mal granados foi mais elevado no cultivo a pleno sol, na safra 2016/17. O sombreamento favoreceu o percentual de grãos classificados como chato graúdo, nas duas safras. Os percentuais de grãos chato

médio, miúdo e moca foram mais elevados no cultivo a pleno sol. Houve influência do sistema de cultivo sobre o peso de 1000 sementes, apenas na safra 2016/17. Grãos provenientes do cultivo sombreado foram mais pesados que os grãos do cultivo a pleno sol. O sistema de cultivo influenciou a acidez total titulável (ATT) e o pH dos grãos. O processamento pós-colheita influenciou os teores de açúcares solúveis totais (AST), redutores (AR), ATT e pH. Houve interação entre o sistema de cultivo e o processamento pós-colheita para o índice de coloração (IC), condutividade elétrica (CE) e íons potássio lixiviados (K LIX). Grãos de cultivo a pleno sol apresentaram menores pH na safra 2015/16 e ATT na safra 2016/17. Grãos submetidos ao preparo natural apresentaram maiores teores de ATT, menor pH e maiores teores de AST e AR que os cereja despulpado, indicando maiores acidez e doçura. Independentemente do sistema de cultivo, os grãos cereja despulpado apresentaram maior IC e menor K LIX que os grãos naturais. Grãos do cultivo sombreado apresentaram menor valor de CE que os do cultivo a pleno sol, quando processados por preparo natural. Nas duas safras, os atributos sensoriais de qualidade foram classificados como muito bom e excelente para todos os tratamentos. Apenas o processamento pós-colheita influenciou a qualidade sensorial. A nota final da bebida de grãos submetidos ao preparo natural foi maior que dos cereja despulpado. De acordo com a metodologia utilizada, nas duas safras, os cafés de todos os tratamentos foram classificados como especiais. Nas condições experimentais em que foi realizado o trabalho, o sombreamento afetou o desenvolvimento reprodutivo, a maturação dos frutos e o rendimento do café beneficiado, sem afetar a produção nas primeiras safras após a recepa dos cafeeiros; o microclima mais ameno, com menor incidência luminosa e amplitude térmica dentro da lavoura, influenciou a formação de grãos maiores e mais pesados. Em relação à composição química e físico química dos grãos e qualidade sensorial da bebida, o processamento pós-colheita mostrou ter maior influência sobre a qualidade que o sistema de cultivo.

ABSTRACT

PACHECO, Anália Lúcia Vieira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Reproductive development and quality of shade coffee submitted to natural method or pulped.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Hermínia Emília Pietro Martinez and Ney Sussumu Sakiyama.

The arabica coffee is a species native to sub-forest regions in Ethiopia and able to adapt, grow and produce under shading conditions. However, according to the climate of the place of cultivation, solar radiation intensity and management practices of the system, the shading can cause decreases in production, besides influencing the reproductive development of the coffee trees, altering the maturation of the fruits. Under conditions of elevated air temperature and lower water availability, shading may be an alternative to coffee cultivation, by attenuating the radiation incident on the plants and reducing the maximum air temperature. In addition, under shading usually the grains are larger and heavier, with fewer defects, which can influence the price received by farmers. In addition to the cropping system, post-harvest processing can alter the chemical and physicochemical composition of the beans, influencing the sensory quality of the beverage. In this context, a study was conducted to evaluate the effects of shading on the reproductive development, production and physical quality of the grains; afterwards, the effects of shading and post-harvest processing on the chemical and physical-chemical composition of the grains and the sensorial quality of the beverage were evaluated. For this, coffee trees of the species *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851, were shaded with shading meshes with blockade of 49.1% of the incident global radiation. Some characteristics were subjected to descriptive statistics, others the analysis of variance and the means were compared by the F test at 5% probability. The shade generated a milder microclimate with attenuation of the global radiation incident on the plants, the maximum temperature and the minimum temperature increase in the area. Shading delayed fruit ripening and increased grain yield, however, there was no influence on coffee production. There was no difference in coffee type and grain damaged by insects, green and burned, in the two harvests evaluated. The percentage of poorly filled grains was higher in full sun, in the 2016/17 season. Shade favored the percentage of grains classified as large grains, in the two harvests. While the average grains, the percentages of small grains and mocha were higher in full sun cultivation. There was influence of the culture system in

the weight of 1000 seeds, only in the 2016/17 crop. Grains from shaded cultivation were heavier than grains from full sun cultivation. The culture system influenced TTA and pH. Post-harvest processing influenced the levels of TSS, RS, TTA and pH. There was interaction effect between the cultivation system and post-harvest processing on CI, EC and LK. Grains from full sun cultivation showed lower pH in the 2015/16 and TTA in the 2016/17 harvest. Grains submitted to natural preparation had higher TTA contents, lower pH and higher levels of TSS and RS than the pulped cherry, indicating higher acidity and sweetness. Regardless of the cultivation system, the pulped cherry grains presented higher CI and lower LK than the natural grains. Grains from shaded cultivation presented lower EC value than those from full sun cultivation when processed by natural preparation. In the two harvests, the level of quality of the sensorial attributes was classified as very good and excellent for all treatments. Only the post-harvest processing influenced the sensorial quality. The final note of the beverage from grains processed by natural preparation was larger than the pulped cherry. According to the methodology used, in the two harvests, the coffees of all treatments were classified as special. In the experimental conditions under which the work was carried out, shading affected reproductive development, fruit maturation and yield of the coffee benefited, without affecting the production in the first harvests after the coffee reception; the milder microclimate, with lower luminous incidence and thermal amplitude inside the culture, influenced the formation of larger and heavier grains. In relation to the chemical and physicochemical composition of the beans and the sensorial quality of the beverage, the post-harvest processing showed to have a greater influence on the quality than the culture system.

INTRODUÇÃO GERAL

A espécie *Coffea arabica* L. é originária das florestas da Etiópia, onde cresce sob a proteção de árvores. Portanto, sua adaptação às condições de sombreamento favorece o cultivo em sistemas agroflorestais, prática muito utilizada na maioria dos países produtores da América Latina (DAMATTA, 2004; MORAIS et al., 2004; BOSSELMANN et al., 2009). No Brasil, sempre predominou o cultivo do cafeeiro a pleno sol. O sombreamento dos cafeeiros até os anos sessenta era uma prática comum nas regiões Norte e Nordeste e, também, no Sul do país em regiões sujeitas a geadas (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006).

Em relação à capacidade de produção dos cafeeiros sombreados existe uma grande controvérsia. Em algumas experiências, os cafeeiros apresentam produções comparáveis as do café a pleno sol (RICCI et al., 2011; BOTE; STRUIK, 2011). Em outras, as produções do café sombreado são mais baixas (CAMPANHA et al., 2004 a; MORAIS et al., 2006; JARAMILLO-BOTERO et al., 2010; SANTOS et al., 2012), chegando a níveis insustentáveis para os agricultores. De fato, a produção do cafeeiro sombreado depende de uma série de fatores que incluem o clima do local, intensidade de radiação solar disponível e as práticas de manejo aplicadas ao sistema (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006).

Em experiências realizadas em outros países produtores de café, em ambientes considerados marginais à cafeicultura, o sombreamento tem se mostrado benéfico, uma vez que reduz a intensidade luminosa incidente e a temperatura máxima do ar na lavoura, promovendo a formação de um microclima mais ameno (MUSCHLER, 2001; SOMPORN et al., 2012). Nessas condições tem-se um prolongamento do período de maturação dos frutos com a consequente formação de grãos maiores e mais pesados (MORAIS et al., 2006; VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; STRUIK, 2011), melhorando a qualidade física dos grãos. Além disso, outros estudos citaram alterações na composição química dos grãos de cultivo sombreado, porém com resultados ainda controversos (VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; SOMPORN et al., 2012; SOUZA et al., 2013; BALIZA et al., 2014), indicando que a composição química dos grãos pode estar relacionada com a intensidade do sombreamento, estágio de maturação dos frutos e, também, com o processamento pós-colheita.

Em locais de maiores altitudes, os benefícios do sombreamento nem sempre se manifestam. No sul da Colômbia, a 1272 e 1730 m de altitude, a sombra de árvores influenciou negativamente os atributos sensoriais da bebida, enquanto que os atributos físicos dos grãos foram influenciados positivamente pela altitude (BOSSELMANN et al., 2009). O efeito

negativo da sombra em altitudes elevadas é explicado por Vaast et al. (2006), pois o sombreamento promove redução na temperatura do ar, de forma semelhante ao que ocorre em locais de altitudes elevadas. Esses pesquisadores avaliando o efeito do sombreamento artificial com 45% de bloqueio da radiação, a 1180 m de altitude, encontraram uma diminuição de 4 °C na temperatura média da área sombreada em comparação com o cultivo a pleno sol. Assim, o sombreamento em altitudes elevadas, acaba por diminuir muito a temperatura do ambiente, prejudicando a qualidade do café. Dessa forma, em regiões com altitudes menores, onde as temperaturas são mais elevadas e estressantes ao cafeeiro, o sombreamento poderá ser útil por atenuar a radiação incidente sobre as plantas e a temperatura do ambiente.

Minas Gerais é o maior produtor nacional de café (CONAB, 2017) e por sua grande extensão territorial e variação ambiental, possibilita a produção de cafés de qualidade com grande diversidade de sabores e aromas (ALVES et al., 2011). A região das Matas de Minas apresenta grande potencial para a produção de cafés de qualidade. Composta por 63 municípios, 36 mil produtores, sendo 80% destes com menos de 20 ha, onde o cafeeiro é cultivado predominantemente a pleno sol (REGIÃO DAS MATAS DE MINAS, 2017). Porém, frente às mudanças climáticas, a região poderá apresentar elevação da temperatura do ar e menor disponibilidade hídrica aos cafeeiros. Na Mogiana Paulista, importante região produtora de cafés de qualidade, cenários com aquecimento de 1 °C, 2 °C e 3 °C poderão levar à redução da área de cafés de bebida Mole para 5%, 10% e 20%, respectivamente. Por outro lado, em cenário com resfriamento de 1 °C poderá aumentar a área de cafés de bebida Mole em mais de 70% (SILVA et al., 2009).

Em condições de cultivo a pleno sol, as altas temperaturas – se associadas a déficit hídrico e alta luminosidade - promovem estresses e, como consequência, tem-se o rápido amadurecimento dos frutos, o que poderá resultar em cafés de qualidade inferior (MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006; BOTE; STRUIK, 2011). Assim, a luminosidade, a temperatura e o déficit hídrico tornam-se aspectos climáticos importantes no ambiente de produção do café, pois afetam diretamente sua fisiologia. Nos anos de 2014 e 2015, em períodos críticos de enchimento de grãos nas principais regiões produtoras do Brasil houve déficit hídrico associado às altas temperaturas. Nestas condições o consórcio de café e macaúba, com cerca de 4,0 m de distância entre as linhas dessas culturas, resultou em maior produtividade e rendimento dos grãos comparativamente ao pleno sol (MOREIRA et al., 2018). No entanto, em cultivos sombreados, com redução da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, forma-se um microclima favorável à infestação de *Hypothenemus hampei*, (FELIZ MATOS et al., 2004;

BOSSERMANN et al., 2009), o que também pode resultar em cafés de baixa qualidade. Entretanto, os resultados encontrados na literatura são inconclusivos em relação ao sombreamento e a infestação desse inseto (SOTO-PINTO et al., 2002; FELIZ MATOS et al., 2004; SOUZA et al., 2013).

O café é um produto que alcança maior valor comercial à medida que melhora sua qualidade física e, principalmente, sensorial (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; BORÉM et al., 2013). A composição química dos grãos pode influenciar a qualidade da bebida e, conseqüentemente, seu preço de mercado. Essa influência se dá através de reações químicas que ocorrem durante a torra (FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006; BORÉM et al., 2008; ABRAHÃO et al., 2010). A sacarose, principal açúcar não-redutor presente nos grãos de café, é essencial para as reações de Maillard, além de ser responsável por precursores do aroma e sabor da bebida (FARAH et al., 2006). A acidez total titulável e o pH dos grãos também são indicativos da qualidade do café (CARVALHO et al., 1994; FRANCA et al., 2005). Os compostos fenólicos, principalmente os ácidos clorogênicos, presentes nos grãos também estão relacionados, de forma ainda controversa, com a qualidade sensorial da bebida (PINTO et al., 2001; FARAH et al., 2006; ABRAHÃO et al., 2010), sendo diretamente relacionados ao microclima das regiões de cultivo, principalmente às variações térmicas (AVELINO et al., 2005). A cor dos grãos, além de ser importante para sua valorização comercial, também pode estar relacionada com a qualidade da bebida, uma vez que o branqueamento dos grãos é indicativo da ocorrência de processos oxidativos (ABREU et al., 2015).

Tão importante quanto a qualidade adquirida na lavoura, é o manejo pós-colheita aplicado aos grãos. Em relação aos tipos de processamento, o café pode ser submetido ao preparo natural ou ser processado como cereja despulpado. O primeiro é o método mais antigo e simples, onde os frutos são secos na sua forma integral, sem a remoção do exocarpo, produzindo frutos conhecidos como café em coco ou natural. O café cereja despulpado é produzido removendo-se a casca mecanicamente e a mucilagem por meio de fermentação biológica (BORÉM, 2008).

Durante o processamento pós-colheita podem ocorrer alterações na composição química e físico-química dos grãos devido ao período de secagem, onde os grãos são expostos a injúrias e a ocorrência de fermentações desejáveis e indesejáveis, resultando em cafés com qualidade final diferente (SAATH et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; MALTA et al., 2013). A condutividade elétrica e lixiviação de íons potássio do interior dos grãos de café é um bom indicativo da qualidade do produto, pois, quanto maior o grau de desestruturação da parede celular dos grãos, maiores são esses valores (PIMENTA, 2003). Os grãos cereja despulpado

completam a secagem em menos tempo que o café natural, devido à eliminação de fontes de fermentação como a casca e a mucilagem, o que facilita a obtenção de cafés de boa bebida (OLIVEIRA et al., 2013). Entretanto, se a colheita for seletiva, secando-se cuidadosamente somente frutos maduros, sem a ocorrência de fermentações, é possível produzir cafés naturais de bebida Mole (BORÉM, 2008).

De forma geral, os cafés submetidos ao preparo natural produzem bebidas mais encorpadas e doces, em comparação aos despulpados, os quais possuem acidez mais desejável (SANTOS et al., 2009). Os cafés naturais, quando processados de forma adequada, se destacam na maioria dos atributos sensoriais avaliados em relação ao café desmucilado (RIBEIRO et al., 2017). Inclusive em concursos de qualidade, os cafés naturais têm alcançado notas tão boas quanto aos despulpados.

No Brasil, a classificação da bebida do café é definida de forma qualitativa, de acordo com o aroma e o sabor pela Classificação Oficial Brasileira (COB), através da prova de xícara, realizada por provadores treinados que distinguem diferentes padrões sensoriais da bebida (BRASIL, 2003). A *Specialty Coffee Association of America* (SCAA) propõe a metodologia que avalia a bebida de forma qualitativa e quantitativa, através dos atributos sensoriais de fragrância (proveniente do pó seco) e aroma (depois de hidratado e pós-quebra da crosta), uniformidade (cinco xícaras, cada qual correspondendo estatisticamente a 20% da amostra), ausência de defeitos (fermentações indesejáveis, amargor indesejável), doçura, sabor, acidez (tipo da acidez, intensidade e qualidade), corpo (intensidade e qualidade), finalização (persistência e qualidade residual), equilíbrio (interação entre sabor, corpo e acidez) e conceito final da bebida (SCAA, 2009).

A qualidade sensorial da bebida do café pode ser influenciada pelo ambiente de cultivo, pelo processamento pós-colheita e, também, pela constituição genética das plantas. O cultivar Oeiras MG 6851 tem grande importância para a cafeicultura da Zona da Mata mineira, por ser adaptada à região e ser resistente à ferrugem do cafeeiro (PEREIRA et al., 2000). Embora sejam escassos os trabalhos que relatam o potencial da qualidade sensorial dos cafés deste cultivar, as bebidas provenientes de cafés naturais, receberam por duas safras seguidas, notas 80 e 82 (CARVALHO et al., 2011). Em dois ambientes de Minas Gerais, cafés desse cultivar quando cereja descascado obtiveram notas de 84,67 e 82,67 em Lavras e Patrocínio, respectivamente (FASSIO et al., 2013).

Diante do exposto, o sombreamento e o processamento pós-colheita poderão influenciar tanto a qualidade física, quanto a composição química e físico-química dos grãos e, conseqüentemente, a qualidade sensorial da bebida.

Esta tese está apresentada na forma de quatro capítulos, a saber:

Capítulo 1: Desenvolvimento reprodutivo e produção do cafeeiro arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento;

Capítulo 2: Qualidade física de grãos de café arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento;

Capítulo 3: Composição química e físico-química do café grão cru cultivado sob sombreamento e submetido a diferentes processamentos pós-colheita;

Capítulo 4: Qualidade sensorial do café natural e cereja despulpado cultivado a pleno sol e sob sombreamento.

Antecedendo a apresentação dos referidos capítulos encontra-se uma Metodologia, com descrição detalhada do material e métodos utilizados.

METODOLOGIA

1.0. Localização da lavoura

O experimento foi instalado em uma lavoura de *Coffea arabica* L. cv. Oeiras MG 6851, implantada em novembro de 2007 e recepada em novembro de 2014, no município de Viçosa (20°45'14" S e 42°52'53" O), Zona da Mata de Minas Gerais, em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV).

A área está localizada a 675 m de altitude, possuindo 17% de declividade e face de exposição solar noroeste (soalheira). O espaçamento entre as plantas foi de $2,80 \times 0,75$ m, com 4.762 plantas ha⁻¹.

1.1. Instalação da tela sombreadora e determinação da radiação solar

Em 06 de outubro de 2015 foi instalada, sobre uma parte da lavoura, uma tela sombreadora sobre quatro linhas de cafeeiros (Figura 1). As lavouras sombreada e a pleno sol estão lado a lado. As avaliações posteriores foram realizadas apenas nas duas linhas centrais, totalizando 40 plantas úteis.

A fim de calcular a real porcentagem de sombreamento, os valores de radiação solar foram tomados dentro da área sombreada e, também, no cultivo a pleno sol com o auxílio de um piranômetro modelo Delta – T Device, que determina os valores de radiação global, direta e difusa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Foram realizadas duas leituras, ao meio-dia, em datas específicas, evitando dias com nebulosidade. O valor de radiação global apresentado corresponde à média dos valores coletados a cada dez segundos em dez minutos de leitura (Tabela 1).

A radiação global, média, incidente nos cafeeiros a pleno sol foi de 2.423,62 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e nos cafeeiros sombreados foi de 1.233,58 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Assim, o real bloqueio de radiação aplicado aos cafeeiros foi de 49,1%.

1.2. Monitoramento da temperatura do ar

A temperatura do ar foi monitorada, em dias alternados, de abril de 2016 até junho de 2017, por meio de termômetros de máxima e mínima, fixados à 1,5 m do solo em ambos os sistemas de cultivo e protegidos da incidência direta do sol.



Figura 1- Instalação da tela sombreadora. Outubro de 2015. Foto: Anália L. V. Pacheco.

Tabela 1 – Radiação global incidente no cultivo a pleno sol e sombreado.

| | Data | Radiação Global ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
|-----------|------------|--|
| Pleno Sol | 15/03/2016 | 2.810,04 |
| | 22/03/2017 | 2.037,21 |
| | Data | Radiação Global ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
| Sombreado | 15/03/2016 | 1.430,23 |
| | 22/03/2017 | 1.036,94 |

1.3. Avaliação do desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro

A partir de novembro de 2015 foram iniciadas as avaliações mensais do desenvolvimento reprodutivo dos cafeeiros. Foram selecionadas, ao acaso, dezesseis plantas sombreadas e dezesseis a pleno sol. As avaliações foram realizadas nas seguintes datas: 09/11/15; 17/12/15; 26/01/16; 22/02/16; 29/03/16; 26/04/16; 16/05/16; 27/06/16; 16/09/16; 10/10/16; 17/11/16; 13/12/16; 11/01/17; 14/02/17; 30/03/17; 25/04/17; 18/05/17 e 08/06/17.

O desenvolvimento reprodutivo foi avaliado segundo metodologia não destrutiva descrita por Campanha et al. (2004 a). Em cada planta foram selecionados e identificados quatro ramos plagiotrópicos, cada um ocupando um quadrante da planta, na altura média da copa. De

novembro/2015 a junho/2017 foram contados o número de frutos nos diferentes estádios de maturação: pós-florada, chumbinho, verde, verde cana, início de maturação, cereja e seco (PEZZOPANE et al., 2003; CAMPANHA et al., 2004 a; MORAIS et al., 2008). O estágio pós-florada ocorre logo após a queda das pétalas, nele os frutos estão com tamanho de 3 a 4 mm de comprimento. Na fase de chumbinho, o comprimento varia de 4,1 a 5 mm e os frutos apresentam crescimento visível. Após este estágio, eles se expandem rapidamente, com a formação do endosperma e granação dos frutos. O estágio verde cana caracteriza o início da maturação e os frutos começam a mudar de cor, evoluindo até o estágio cereja (PEZZOPANE et al., 2003; MORAIS et al., 2008).

1.3.1 Maturação dos frutos do cafeeiro a pleno sol e sombreado

A partir dos dados do desenvolvimento reprodutivo, foi determinado o momento em que começaram a aparecer os primeiros frutos no estágio de cereja. Assim, o percentual de maturação dos frutos foi calculado em cada sistema de cultivo. As frequências de cada estágio de maturação foram calculadas em relação ao total de estádios em cada mês (MORAIS et al., 2009).

1.4. Colheita e processamento pós-colheita do café

Nas duas safras, 2015/16 e 2016/17, foram colhidas 40 plantas em cada sistema de cultivo, com exceção dos ramos marcados para avaliação do desenvolvimento reprodutivo. Cada parcela foi composta por oito plantas, totalizando assim cinco parcelas. A colheita foi feita pelo método de derriça no pano, colhendo-se frutos nos diferentes estádios de maturação. A safra 2015/16 foi a primeira colheita após a recepa dos cafeeiros, ocorrida em novembro/2014.

1.4.1. Safra 2015/16

A colheita do café a pleno sol foi realizada no dia 25/05/16 e a do café sombreado dia 30/05/16, ambos pela manhã. Após a colheita os frutos foram transportados para o Laboratório de Agroecologia da UFV, sendo quantificada a produção de café fresco de cada parcela. A seguir os frutos foram imersos em água para lavagem e retirada da fração boia (frutos secos, mal granados, brocados, etc.). Após a lavagem foi feita a separação e quantificação das frações boia, verde/verde-cana, início de maturação e cereja (Figura 2). Essa separação e quantificação foi feita a fim de se determinar o percentual de cada estágio de maturação, no momento da colheita do café.



Figura 2 - Frações boia, verde/verde cana e início de maturação separados após a lavagem. Foto: Anália L. V. Pacheco.

A produção total de frutos no estágio de maturação cereja foi dividida ao meio, sendo metade destinada ao processamento pós-colheita por preparo natural e outra metade como cereja despulpado. Os grãos de cada parcela foram colocados em peneiras suspensas sobre lajotas, no terreiro de secagem, sendo revolvidos manualmente várias vezes por dia até o final da secagem (Figura 3).

Os grãos cereja despulpado foram descascados, com despulpador manual com fluxo contínuo de água, e desmucilado via fermentação. Cada parcela foi colocada em uma caixa d'água, que serviu como um tanque de fermentação, com água suficiente para cobrir os grãos, por um período de 24 horas. Eventualmente esses grãos eram revolvidos para auxiliar na retirada da mucilagem. Terminada a fase da fermentação, os grãos foram lavados, com sucessivas trocas de água até ser observada a completa remoção da mucilagem.

Os grãos processados por preparo natural e cereja despulpado, dos dois sistemas de cultivo, permaneceram no terreiro até o dia 03/06/2016, terminando a secagem em estufa de circulação forçada de ar, cujos dados estão na Tabela 2. A estufa utilizada na finalização da secagem dos grãos foi programada com a temperatura de 35 °C. Durante o período de secagem no terreiro, na estufa e no armazenamento foram monitoradas as temperaturas, médias diárias, máxima e mínima e, também, a umidade relativa do ar (Tabela 2).

Durante a secagem, o teor de água dos grãos foi monitorado, semanalmente, em equipamento Gehaka Agri – G800. Após atingir o teor de umidade entre 11 e 12%, foram embalados em sacos de nylon, colocados em caixas de isopor e armazenados.



Figura 3 – Secagem do café cultivado a pleno sol e sombreado, processados por preparo natural e cereja despulpado. Foto: Anália L. V. Pacheco

Tabela 2 – Temperatura (°C) média diária e umidade relativa do ar (%) durante a secagem dos grãos no terreiro e na estufa, e durante o armazenamento. Safra 2015/16.

| Etapa | Temperatura média diária (°C) | | Umidade relativa média diária (%) | |
|---------------------|-------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima |
| Secagem em Terreiro | 32,26 | 15,54 | 91,60 | 52,40 |
| Secagem em Estufa | 34,79 | 29,58 | 53,85 | 36,00 |
| Armazenamento | 21,72 | 19,41 | 61,38 | 55,26 |

1.4.2. Safra 2016/17

A colheita do café a pleno sol foi realizada no dia 09/05/17 e a do café sombreado dia 25/05/17, pela manhã. Após a colheita os cafés foram transportados para o Laboratório de Agroecologia da UFV, onde foram processados conforme metodologia descrita para a safra 2015/16.

Os grãos do cultivo a pleno sol, processados por preparo natural e cereja despulpado, permaneceram no terreiro até o dia 14/05/2017; os grãos do cultivo sombreado, processados por preparo natural e cereja despulpado, permaneceram no terreiro até o dia 30/05/2017, terminando a secagem em estufa de circulação forçada de ar. Assim como na safra 2015/16, durante o período de secagem no terreiro, na estufa e no armazenamento foram monitoradas as

temperaturas, médias diárias, máxima e mínima e, também, a umidade relativa do ar (Tabela 3). Após atingir o teor de umidade entre 11 e 12%, foram embalados em sacos de nylon, colocados em caixas de isopor e armazenados.

Tabela 3 – Temperatura (°C) média diária e umidade relativa do ar (%) durante a secagem do café no terreiro e na estufa, e durante o armazenamento. Safra 2016/17.

| Etapa | Temperatura média diária (°C) | | Umidade relativa média diária (%) | |
|---------------------|----------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|
| | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima |
| Secagem em terreiro | 39,83 | 17,03 | 82,00 | 25,33 |
| Secagem em estufa | 35,77 | 29,54 | 74,00 | 30,00 |
| Armazenamento | 22,72 | 15,41 | 66,23 | 56,54 |

1.5. Teor de água nos grãos de café

Os grãos foram armazenados em ambiente coberto e seco por 72 dias. Antes do beneficiamento, amostras de cada repetição, de cada tratamento foram coletadas e testadas quanto ao teor de água nos grãos (ISO 6673:2003).

O método para determinação do teor de água em grãos de café baseou-se na perda de água e pequena quantidade de compostos voláteis. Nesse método, a amostra de grãos inteiros é colocada em estufa com ventilação forçada de ar e temperatura controlada de 105 °C ± 1 °C, durante 16 h ± 30 minutos. Aproximadamente 10 g de grãos de café, de cada repetição, foram pesadas e colocadas nas condições especificadas. Após o período determinado, as amostras foram retiradas da estufa, colocadas em dessecador para resfriarem até a temperatura ambiente, e pesadas em balança com precisão de 0,1 mg.

O teor de água foi expresso em porcentagem e calculado de acordo com a equação:

$$U = (m_1 - m_2) \div (m_1 - m_0) \times 100$$

Onde: m_0 = massa da cápsula (g); m_1 = massa da cápsula e da amostra antes da secagem (g); m_2 = massa da cápsula e da amostra após a secagem (g); U= teor de água em % bu.

Os teores de água contida nos grãos de café das safras 2015/16 e 2016/17 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios do teor de água (%) contido nos grãos de café das safras 2015/16 e 2016/17.

| | Pleno sol/ natural | Pleno sol/ despolpado | Sombreado/ natural | Sombreado/ despolpado |
|---------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Safra 2015/16 | 10,36 | 10,72 | 11,33 | 10,71 |
| Safra 2016/17 | 10,83 | 10,54 | 10,31 | 10,74 |

1.6. Produção e rendimento

1.6.1 Produção de café fresco

A produção de café fresco ($t\ ha^{-1}$) foi avaliada nas safras 2015/16 e 2016/17 logo após a colheita do café. Foram colhidas 40 plantas em cada sistema de cultivo, cada parcela foi composta por oito plantas, totalizando assim cinco repetições.

1.6.2 Café beneficiado

Após o beneficiamento dos grãos de cada repetição, a produtividade do café beneficiado ($sacas\ ha^{-1}$) foi avaliada nas safras 2015/16 e 2016/17.

1.6.3 Rendimento do café beneficiado

O rendimento médio percentual do café beneficiado foi avaliado em cada sistema de cultivo. Para o cálculo do rendimento percentual dividiu-se a massa do café grão cru beneficiado pela massa do café seco natural.

1.7. Classificação física dos grãos

Os grãos foram classificados de acordo com a Instrução Normativa nº8 que diz respeito ao regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru das espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (BRASIL, 2003).

1.7.1. Tipo do café

O tipo do café beneficiado grão cru foi avaliado de acordo com o número de defeitos presentes em amostras de 300 g de grãos de cada repetição. Os defeitos intrínsecos como matérias estranhas e impurezas não estavam presentes nas amostras. Os grãos defeituosos foram quantificados e pesados separadamente e os resultados expressos em percentagem (BRASIL, 2003).

1.7.2. Grãos brocados, pretos, verdes, ardidos e mal granados

O percentual de grãos atacados pela broca do café (*Hypothenemus hampei*) e dos defeitos grãos pretos, verdes, ardidos e mal granados também foram determinados em amostras de 300 g de grãos de café beneficiado (BRASIL, 2003), de cada repetição. Os defeitos foram quantificados, pesados separadamente e os resultados expressos em percentagem.

1.7.3. Classificação por peneiras

Para a classificação por peneiras foram pesados 100 g de grãos de café beneficiado de cada repetição e isentos de defeitos e impurezas. Os grãos passaram por uma série de peneiras dispostas na ordem decrescente para grãos chatos e mocas (BRASIL, 2003). Após a passagem pelas peneiras, os grãos foram classificados em chato graúdo (peneiras 17, 18 e 19), chato médio (peneiras 15 e 16) e chato miúdo (peneiras 14 e menores); os grãos mocas foram classificados em moca graúdo (peneiras 11, 12 e 13), moca médio (peneira 10) e moca miúdo (peneira 9).

Os grãos retidos em cada peneira foram pesados e os resultados expressos em percentagem.

1.7.4. Peso de 1000 sementes

O peso de 1000 sementes foi determinado de acordo as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). A determinação foi feita após a homogeneização de cada repetição, com a pesagem de 1000 sementes de café beneficiado e sem defeitos.

1.8. Composição química e físico-química dos grãos de café beneficiados

A composição química e físico-química dos grãos crus foi determinada com grãos inteiros (condutividade elétrica e potássio lixiviado) e moídos (demais análises químicas). Amostras de grãos, provenientes de frutos cereja, de cada repetição, de cada tratamento, sem defeitos e sem impurezas, selecionadas em peneiras de grãos chato de tamanho 16 e acima, foram processadas em moinho de facas, em temperatura ambiente. Após a trituração o extrato sólido foi colocado em potes devidamente identificados e armazenados em freezer a -20 °C, até a realização das análises.

1.8.1. Açúcares solúveis totais, redutores e não-redutores

Os açúcares solúveis totais e redutores foram extraídos pelo método de Lane-Enyon, descrito pela AOAC (1990) e determinados pelos métodos Fenol-Sulfúrico (DUBOIS et al., 1956) e DNS (Ácido 3,5-dinitrosalicílico) (MALDONADE et al., 2013), respectivamente. Os

açúcares não-redutores (ANR) foram determinados pela diferença entre o teor de açúcares solúveis totais (AST) e redutores (AR). A solução de ácido dinitrossalicílico (DNS) foi preparada diluindo-se 5g de DNS em 250 mL de água destilada a 80 °C. Após atingir a temperatura ambiente, adicionou-se 100 mL de NaOH 2N e 150 g de tartarato de sódio e potássio 4-hidratado. Completou-se o volume para 500 mL com água destilada.

Para a extração, as amostras de 1g de café cru moído foram colocadas em tubos tipo *falcon* de 15 mL e a seguir colocou-se 5 mL etanol 80% fervente, a seguir as amostras com etanol foram armazenadas a 4 °C por um período de quatro dias. Após este período as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 2.000 rpm, procedeu-se à filtragem e repetiu a centrifugação por mais três vezes. A seguir completou-se a soma do sobrenadante para o volume mais alto. As amostras foram armazenadas a 4 °C, para posterior quantificação.

Para determinação do teor de açúcares totais colocou-se em tubo de ensaio 250 µL da amostra e 250 µL de Fenol (5%), procedeu-se à agitação para homogeneização das soluções e adição de 1,25 mL de ácido sulfúrico concentrado, agitou-se novamente. A seguir, as amostras foram colocadas em banho-maria a 30 °C durante 20 minutos. Após este período as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 490 nm utilizando cubeta de vidro.

A curva de calibração foi realizada com solução aquosa de sacarose nas concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50 µg mL⁻¹ (Figura 4).

As leituras foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em % AST.

$$\% \text{ AST} = \left(\frac{L \times n \times v}{ma} \right) \times 100$$

Onde: L = concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro (g.mL⁻¹) utilizando-se a reta da curva de calibração; n = número de diluições realizadas na amostra; v = volume total do extrato bruto; ma = massa da amostra.

A determinação dos açúcares redutores foi feita com o mesmo extrato utilizado para determinação dos açúcares solúveis totais. Em tubos de ensaio foram colocados 500 µL de amostra mais 500 µL da solução de DNS, a seguir os tubos foram colocados em água fervente por cinco minutos. Após esta etapa os tubos foram colocados no gelo e imediatamente adicionou-se 4 mL de água destilada. A seguir as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 540 nm utilizando cubeta de vidro.

A curva de calibração foi realizada com solução alcoólica de glicose nas concentrações de 0, 200, 400, 600, 800 e 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Figura 5).

As leituras foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em % AR.

$$\% AR = \left(\frac{L \times n \times v}{ma} \right) \times 100$$

Onde: L = concentração da amostra obtida pela leitura em espectrofotômetro (g mL^{-1}) utilizando-se a reta da curva de calibração; n = número de diluições realizadas na amostra; v = volume total do extrato bruto; ma = massa da amostra.

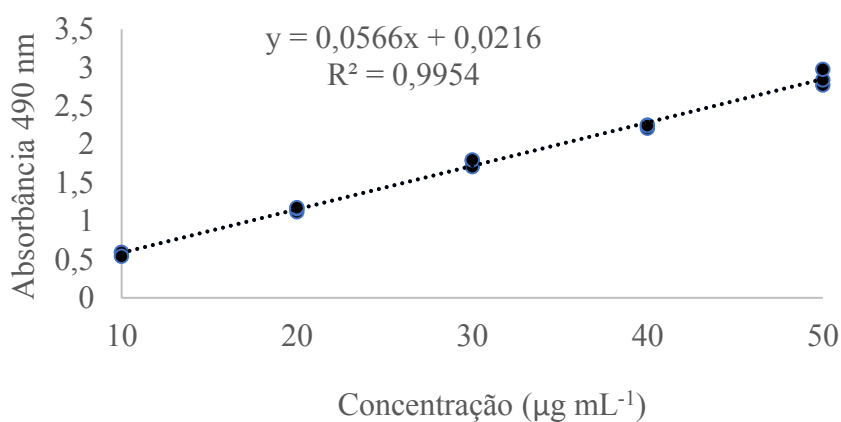


Figura 4 – Curva de calibração da solução aquosa de sacarose.

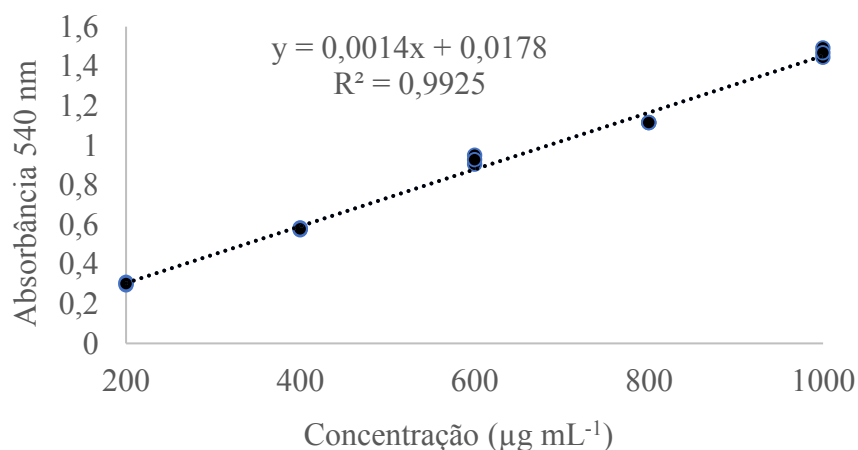


Figura 5 – Curva de calibração da solução alcoólica de glicose.

1.8.2. Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada pelo método descrito pela AOAC (1990). Em erlenmeyer foram colocadas amostras de 2 g de café cru moído e adicionados 50 mL de água destilada. A mistura foi colocada em mesa agitadora a 150 rpm durante 1 hora. Em seguida o material foi filtrado em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro. Uma alíquota de 5 mL da solução filtrada foi transferida para outro erlenmeyer, diluída em 50 mL de água destilada e adicionado 3 gotas de fenolftaleína a 1%. A seguir procedeu-se à titulação com NaOH a 0,1 mol L⁻¹. O resultado foi expresso em mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ 100 g⁻¹ de amostra. As titulações foram realizadas em triplicata.

1.8.3. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado pelo método descrito pela AOAC (1990). Amostras de 2 g de café cru moído foram colocadas em erlenmeyer e adicionados 50 mL de água destilada, a seguir a mistura foi colocada em mesa agitadora a 150 rpm durante 1 hora. Em seguida foi feita a filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro e a leitura em peagâmetro digital. As leituras do pH foram realizadas em triplicata.

1.8.4. Índice de coloração

O índice de coloração foi determinado pelo método descrito por Singleton (1966), adaptado para o café. Amostras de 2 g de café cru moído foram colocadas em erlenmeyer e adicionados 50 mL de água destilada, a seguir a mistura foi colocada em mesa agitadora a 150 rpm durante 1 hora. Em seguida foi feita a filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro. Em uma alíquota de 5 mL do filtrado foram adicionados 10 mL de água destilada. As amostras foram deixadas em repouso durante 20 minutos e a seguir lidas em espectrofotômetro ajustado para 425 nm. As leituras foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em D.O. 425 nm.

1.8.5. Fenóis totais

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin Denis, descrito pela AOAC (1990). Amostras de 0,5 g de café cru moído foram colocadas em erlenmeyer e adicionados 30 mL de metanol 50%, a solução foi colocada em mesa agitadora a 150 rpm por 15 minutos, seguido de filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro. A seguir, uma alíquota de 100 µL do extrato foi colocada em tubos de ensaio e

adicionados 2,5 mL de uma solução aquosa do reativo de Folin-Ciocalteu (10%) e 2,0 mL de uma solução de carbonato de sódio (7,5%). As amostras foram mantidas em banho-maria a 50 °C durante cinco minutos. Após atingir a temperatura ambiente, a absorbância foi lida em espectrofotômetro a 760 nm.

A curva de calibração foi feita com uma solução aquosa de ácido gálico nas concentrações de 25, 50, 100, 150, 200 e 250 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Figura 6). As leituras foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em % de fenóis totais.

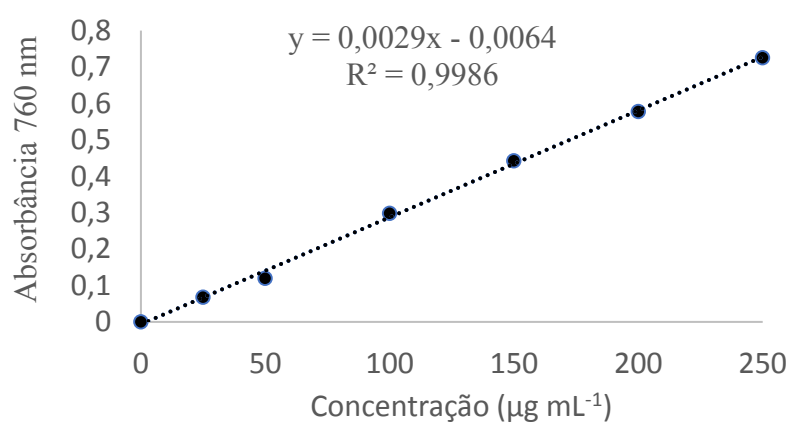


Figura 6 – Curva de calibração da solução aquosa de ácido gálico.

1.8.6. Condutividade elétrica e potássio lixiviado

A condutividade elétrica do exsudato e o potássio lixiviado de grãos de café foram determinados pelo método descrito por Prete (1992).

Amostras de 50 grãos de café beneficiado, sem defeitos e de tamanho de peneiras 16 e acima foram pesados (precisão de 0,1 g) e imersos em 75 mL de água destilada (no interior de copos de plástico de 180 mL de capacidade). As amostras foram deixadas em repouso por 5 horas em estufa a 25°C, a seguir retiraram-se os grãos e fez-se a leitura em condutivímetro. As leituras foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em $\mu\text{S g}^{-1}$ de amostra.

O potássio (K) lixiviado foi determinado retirando-se uma alíquota de cada amostra para leitura em fotômetro de chama. O K lixiviado (%) foi calculado com base na curva de calibração feita com solução de K nas concentrações de 2, 4, 6, 8 e 10 mg L^{-1} (Figura 7). As leituras foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos em % de K lixiviado.

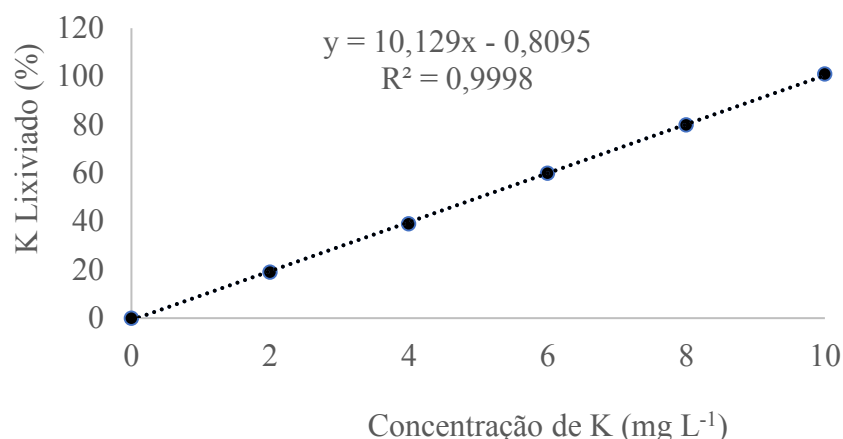


Figura 7 – Curva de calibração da solução aquosa de K (mg L⁻¹).

1.9. Análise sensorial da bebida do café

A análise sensorial foi realizada conforme metodologia da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). Foram utilizados somente grãos provenientes de frutos no estágio cereja e classificados como grãos chato e tamanho de peneiras 16 e acima. As amostras foram avaliadas por quatro provadores treinados e qualificados como Q-grader de cafés especiais, em sistema duplo-cego. Em cada avaliação foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada tratamento e atribuídas notas no intervalo de 0 a 10 pontos para cada um dos seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e impressão global (Tabela 5). A nota final representou a soma dos atributos.

Tabela 5 - Escala de pontuação de cada atributo para análise sensorial de cafés especiais, segundo a metodologia da SCAA.

| Nível de qualidade | Pontuação correspondente |
|--------------------|--------------------------|
| Excepcional | > 9,00 |
| Excelente | 8,00 a 8,75 |
| Muito bom | 7,00 a 7,75 |
| Bom | 6,00 a 6,75 |

Fonte: SCAA (2009).

De acordo com a nota final de cada amostra, de cada tratamento, as bebidas foram classificadas conforme a descrição na Tabela 6.

Tabela 6 - Escala de qualidade de acordo com a metodologia proposta pela SCAA.

| Pontuação | Descrição | Classificação |
|------------|-------------------------|-----------------|
| 90 – 100 | Exemplar | Especial raro |
| 85 – 89,99 | Excelente | Especial origem |
| 80 – 84,99 | Muito bom | Especial |
| < 80 | Abaixo do Grau Especial | Não especial |

Fonte: Adaptado de SCAA, 2009.

2.0. Análise dos dados

O desenvolvimento reprodutivo e a maturação dos frutos, em cada sistema de cultivo, foram avaliados por meio de estatística descritiva. O desenvolvimento reprodutivo foi comparado através da média aritmética do número de frutos de cada estágio de maturação por ramo, por planta. A maturação dos frutos foi comparada através das frequências de cada estágio de maturação em relação ao total de estágios em cada mês.

Para a avaliação da produção de café fresco e produtividade de café beneficiado, os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado) nas parcelas e duas safras (2015/16 e 2016/17) nas sub-parcelas. Foram utilizadas cinco parcelas e cada uma foi constituída de oito plantas. Os dados foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade.

O rendimento do café beneficiado foi avaliado por meio de estatística descritiva. Os dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado) foram avaliados em duas safras (2015/16 e 2016/17), com cinco repetições de cada tratamento. Os resultados foram interpretados por meio da média e erro padrão.

Para a classificação física do café beneficiado, os tratamentos comparados foram os dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado), avaliados em duas safras (2015/16 e 2016/17). Foram utilizadas cinco repetições de cada tratamento. Os resultados foram interpretados pelo teste t a 5% de probabilidade.

Para a avaliação da composição química do café beneficiado, os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado) nas parcelas e dois tipos de processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado) nas sub-parcelas. Em cada safra foram utilizadas cinco repetições de cada tratamento. Os dados foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para a avaliação da qualidade sensorial da bebida, os atributos sensoriais e a nota final foram avaliados por meio de estatística descritiva e análise de variância, respectivamente. Foram utilizadas quatro repetições de cada tratamento. Os resultados dos atributos sensoriais foram interpretados por meio da média e erro padrão. Para a nota final da bebida, os tratamentos foram arrançados em parcelas subdivididas, com dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado) nas parcelas e dois tipos de processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado) nas sub-parcelas. Os dados foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahão, S. A.; Pereira, R. G. F.; Duarte, S. M. da S.; Lima, A. R.; Alvarenga, D. J.; Ferreira, E. B. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.414-420, 2010.
- Abreu, G. F.; Pereira, C. C.; Malta, M. R.; Clemente, A. da C. S.; Coelho, L. F. S.; Rosa, S. D. V. F. da. Alterações na coloração de grãos de café em função das operações pós-colheita. **Coffee Science**, v.10, n.4, p.429-436, 2015.
- Afonso Júnior, P. C.; Corrêa, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.6, p.1268-1276, 2003.
- Alves, H. M. R.; Volpato, M. M. L.; Vieira, T. G. C.; Borém, F. M.; Barbosa, N. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, n.261, v.32, p.18-29, 2011.
- AOAC - Association of official analytical chemists. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15.ed. Washington, 1990. 684p.
- Avelino, J.; Barboza, B.; Araya, J. C.; Fonseca, C.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Cilas, C. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude *terroirs* of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.1869-1876, 2005.
- Baliza, D. P.; Santos, M. de O.; Alves, J. D.; Guimarães, R. J.; Cunha, R. L. da. Metabolismo da sacarose em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v.9, n.4, p.445-455, 2014.
- Borém, F. M. Processamento do café. In: **Pós-colheita do café**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2008. 631p.
- Borém, F. M.; Coradi, P. C.; Saath, R.; Oliveira, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1609-1615, 2008.
- Borém, F. M.; Ribeiro, F. C.; Figueiredo, L. P.; Giomo, G. S.; Fortunato, V. A.; Isquierdo, E. P. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, v.52, p. 1-6, 2013.

Bosselmann, A. S.; Dons, K.; Oberthur, T.; Olsen, C. S.; Ræbild, A.; Usma, H. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.129, p.253-260, 2009.

Bote, A. D.; Struik, P.; C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, v.3, n.11, p.336-341, 2011.

Brasil. Instrução Normativa nº8, 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**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p.22-29.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

Campanha, M. M.; Santos, R. H. S.; Freitas, G. B. de; Martinez, H. E. P.; Garcia, S. L. R.; Finger, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, 63: 75-82, 2004 a.

Campanha, M. M.; Santos, R. H. S.; Freitas, G. B. de; Martinez, H. E. P.; Finger, F. L.; Garcia, S. L. R. Incidência de pragas e doenças em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestral e em monocultivo. **Revista Ceres**, 51 (295), p.391-396, 2004 b.

Carvalho, V. D. de; Chagas, S.J. de R.; Chalfoun, S. M.; Botrel, N.; Juste Júnior, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café (I -Atividades de polifenoloxidase e peroxidase, índice de coloração de acidez). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.3, p.449-454, 1994.

Carvalho, C.H.S.; Matiello, J.B.; Almeida, S.R.; Ferreira, R.A.; Padilha, L.; Ferreira, I.B.; Galdino, P. Qualidade da bebida de cultivares de café com resistência à ferrugem do cafeeiro. In VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011, Araxá - MG. **Resumos expandidos...** Embrapa Café, Brasília.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Safra 2017, Terceiro Levantamento**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v.4, n.3, p.1-107, 2017.

Damatta, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v.86, n.2/3, p.99-114, 2004.

Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, F. Smith. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, 28, 350–356, 1956.

Feliz Matos, D.; Guharay, F.; Beer, J. Incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei*) em plantas de café a pleno sol y bajo sombra de *Eugenia jambos* y *Gliricidia sepium* em San Marcos, Nicaragua. **Agroforestería em las Américas**, n.41-42, p.56-61, 2004.

Fassio, L. O.; Malta, M. R.; Carvalho, G. R.; Pimenta, C. J.; Lima, P. M. de; Chagas, R. M. R. Avaliação da qualidade sensorial e fisiológica de cafés (*Coffea arabica* L.) resistentes e suscetíveis à ferrugem cultivados em dois ambientes de Minas Gerais. In: VIII Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, Salvador, BA, **Resumos expandidos...**Embrapa Café, Brasília. 2013.

Farah, A.; Monteiro, M. C.; Calado, V.; Franca, A. S.; Trugo, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v.98, n.2, p.373-380, 2006.

Franca, A. S.; Mendonça, J. C. F.; Oliveira, S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT**, v.38, p.709-715, 2005.

Geromel, C.; Ferreira, L. P.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Ribeyre, F.; Sholz, M. B. dos S.; Pereira, L. F. P.; Vaast, P.; Pot, D.; Leroy, T.; Filho, A. A.; Vieira, L. G. E.; Mazzafera, P.; Marraccini, P. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.569-579, 2008.

ISO INTERNATIONAL STANDARD. **Green coffee**: determination of loss in mass at 105 °C: ISO 6673. Washington, 1983.

Jaramillo-Botero, C.; Martinez, H. E. P.; Santos, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da américa latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.94-102, 2006.

Jaramillo-Botero, C.; Santos, R. H. S.; Martinez, H. E. P.; Cecon, P. R.; Fardin, M. P. Production and vegetative Growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Sci. Agric.**, v.67, n.6, p.639-645, 2010.

Maldonade, I. R.; Carvalho, P. G. B.; Ferreira, N. A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. **Embrapa Hortaliças**, Brasília. Comunicado Técnico 85, p.4, 2013.

Malta, M. R.; Rosa, S. D. V. F. da; Lima, P. M. de; Fassio, L. de O.; Santos, J. B. dos. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, v.21, n.5, p.431-440, 2013.

Morais, H.; Medri, M. E.; Marur, C. J.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian archives of biology and technology**, v.47, n.6, p.863-871, 2004.

Morais, H.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C.; Koguishi, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p. 763-770, 2006.

Morais, H.; Caramori, P. H.; Koguishi, M. S.; Ribeiro, A. M. de A. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v.67, n.1, p.257-260, 2008.

Morais, H.; Caramori, P. H.; Koguishi, M. S.; Gomes, J. C.; Ribeiro, A. M. de A. Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, v.39, n.2, p.400-406, 2009.

Moreira, S. L. S.; Pires, C. V.; Marcatti, G. E.; Santos, R. H. S.; Imbuzeiro, H. M. A.; Fernandes, R. B. A. Intercropping of coffee with the palm tree, *macauba*, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, p. 379-390, 2018.

Muschler, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems** 85: 131-139, 2001.

Oliveira, P. D.; Borém, F. M.; Isquierdo, E. P.; Giomo, G. da S.; Lima, R. R. de; Cardoso, R. A. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.211-220, 2013.

Pereira, A. A.; Zambolim, L.; Chaves, G. M.; Sakiyama, N. S. Cultivar de café resistente à ferrugem: Oeiras – MG 6851. **Revista Ceres**, v.47, n.269, p.121-124, 2000.

Pezzopane, J. R. M.; Pedro Júnior, M. J.; Thomaziello, R. A.; Camargo, M. B. P. de. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

Pimenta, C. J. **Qualidade de Café**. Lavras: Editora UFLA, 2003. 304 p.

Pinto, N. A. V. D.; Fernandes, S. M.; Pires, T. C.; Pereira, R. G. F. A.; Carvalho, V. D. de. Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.3, p.193-195, 2001.

Prete, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.

Região das Matas de Minas. Disponível em: <http://www.matasdeminas.org.br/>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

Ribeiro, B. B.; Nunes, C. A.; Souza, A. J. de J.; Montanari, F. F.; Silva, V. A. da.; Madeira, R. A. V.; Piza, C. de. Perfil sensorial de cultivares de café processados por via seca e via úmida após armazenamento. **Coffee Science**, v.12, n.2, p.148-155, 2017.

Ricci, M. dos S. F.; Costa, J. R.; Oliveira, N. G. de. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, v.6, n.1, p.44-54, 2011.

Saath, R.; Biaggioni, M. A. M.; Borém, F. M.; Broetto, F.; Fortunato, V. A. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica* L.) nos processos pós-colheita. **Revista Energia na Agricultura**, v.27, n.2, p.96-112, 2012.

Santos, M.A.; Chalfoun, S.M.; Pimenta, C.J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição físico-química do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.1, p.213-218, 2009.

Santos, R.; Rodrigues, L.; Lima, C.; Jaramillo-Botero, C. Coffee Yield and Microenvironmental Factors in a Native Tree Agroforestry System in Southeast Minas Gerais, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 36, n.1, p.54-68, 2012.

SCAA – Specialty Coffee Association of America. 2009. Metodologia SCAA de avaliação de cafés especiais. GUIA RÁPIDO – GREEN COFFEE. 7 p. Disponível em: <http://www.scaa.org>. Acesso em: 16 janeiro 2017.

Silva, A. V. L.; Camargo, M. B. P.; Moraes, J. F. L.; Carvalho, J. P. Clima e qualidade natural de bebida do café arábica na região Mogiana do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6, Vitória, ES, 2009. **Resumos expandidos...** Embrapa Café, Brasília.

Singleton, V. L. The total phenolic content of grapes berries during the maturation of several varieties. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.17, p.126-134, 1966.

Somporn, C.; Kamtuo, A.; Theerakulpisut, P.; Siriamornpun, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of Coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92:1956-1963, 2012.

Souza, A. J. de; Matsumoto, S. N.; Malta, M. R.; Guimarães, R. J. Qualidade do café arborizado e a pleno sol, em manejo pós-colheita no sudoeste da Bahia. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.109-120, 2013.

Soto-Pinto, L.; Perfecto, I.; Caballero-Nieto, J. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, 55: 37-45, 2002.

Vaast, P.; Bertrand, B.; Perriot, J. J.; Guyot, B.; Génard, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of Coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86:197-204, 2006.

Capítulo 1: Desenvolvimento reprodutivo e produção do cafeeiro arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento

Resumo

O cafeeiro arábica é uma espécie originária de regiões de sub-bosque na Etiópia e capaz de se adaptar, crescer e produzir em condições de sombreamento. Entretanto, de acordo com o clima do local, intensidade de radiação solar e práticas de manejo do sistema, o sombreamento pode causar decréscimos na produção, além de influenciar o desenvolvimento reprodutivo dos cafeeiros alterando a maturação dos frutos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do sombreamento sobre o desenvolvimento reprodutivo e a produção do cafeeiro. Para isso, cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851 foram sombreados com malhas sombreadoras com bloqueio de 49,1% da radiação global incidente. Para a avaliação do desenvolvimento reprodutivo e maturação, foram selecionadas, ao acaso, dezesseis plantas sombreadas e a pleno sol. As avaliações ocorreram entre os meses de novembro de 2015 a junho de 2017. O desenvolvimento reprodutivo, em cada sistema de cultivo foi comparado por meio de estatística descritiva, utilizando os dados da média aritmética do número de frutos em cada estágio de maturação por ramo, por planta. A maturação dos frutos foi comparada através das frequências de cada estágio de maturação em relação ao total de estágios em cada mês. Para a produção, os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado) nas parcelas e duas safras (2015/16 e 2016/17) nas sub-parcelas. Foram colhidas 40 plantas de cada sistema de cultivo. Cada parcela foi constituída de oito plantas e em cada safra foram utilizadas cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. Para a avaliação do rendimento do café beneficiado, os tratamentos comparados foram os dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreado), com cinco repetições de cada tratamento, em cada safra. Os resultados foram interpretados por meio da média e erro padrão. O sombreamento gerou microclima mais ameno com atenuação da radiação global incidente sobre as plantas, da temperatura máxima e aumento da temperatura mínima na área. Nas duas safras, nos primeiros meses de avaliação, houve um número de frutos mais elevado no cultivo sombreado em comparação ao cultivo a pleno sol, provavelmente devido a um maior pegamento da florada. Entretanto, na primeira safra a abscisão de frutos foi mais elevada no cultivo sombreado em comparação com o a pleno sol. O sombreamento atrasou a maturação dos frutos. Não houve influência do sombreamento sobre a produção de café fresco ou beneficiado. Cafés sombreados apresentaram rendimento mais elevado que aqueles cultivados a pleno sol. A sombra afeta o desenvolvimento reprodutivo, a maturação dos frutos e o rendimento do café beneficiado, sem afetar a produção nas primeiras safras após a recepa dos cafeeiros.

Palavra-chave: *Coffea arabica* L., maturação, radiação, sombra, temperatura do ar

Abstract

Arabica coffee is a species native to sub-forest regions in Ethiopia and able to adapt, grow and produce under shading conditions. However, depending on the tree species used, planting density, distance between plants, age of coffee trees, soil management and climatic conditions, shading can cause decreases in production, besides influencing the reproductive development of coffee trees, altering fruit maturation. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of shading on reproductive development and coffee production. For this, coffee trees of the species *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851, were shaded with shading meshes with blockade of 49.1% of the incident global radiation. For the evaluation of the reproductive

development and maturation, sixteen plants cultivated under shade and in full sun were randomly selected. The evaluations occurred between November 2015 and June 2017. The reproductive development in each cropping system was compared by means of descriptive statistics, using the data of the arithmetic mean of the number of fruits at each maturity stage by branch, per plant. Fruit maturation was compared through the frequencies of each maturation stage in relation to the total stages in each month. For the production, the treatments were arranged in subdivided plots, with two cropping systems (full sun and shading) in the plots and two crops (2015/16 and 2016/17) in the subplots. Four plants were harvested from each culture system. Each plot consisted of eight plants and five replications were used in each crop. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the F test at 5% probability. For the evaluation of the yield of coffee benefited, the treatments compared were the two cropping systems (full sun and shading), with five replicates of each treatment, in each crop. The results were interpreted by mean and standard error. The shade generated a milder microclimate with attenuation of the global radiation incident on the plants and of the maximum temperature and increase the minimum temperature in the area. In the two harvests, in the first months of evaluation, there was a higher number of fruits in the shade cultivation compared to full-sun cultivation, probably due to a greater floral. However, in the first harvest the fruit abscission was higher in the shade crop compared to the full sun. Shading delayed fruit maturation. There was no influence of shading on production. Coffees grown under shade had higher yields than those grown in full sun. Shading affects reproductive development, fruit maturation and production efficiency of the coffee benefited, without affecting the production in the first crops after the pruning of coffee trees.

Key words: *Coffea arabica* L., ripening, radiation, shade, air temperature

1.0 Introdução

Minas Gerais é o maior produtor nacional de café (CONAB, 2017) e por sua grande extensão territorial e variação ambiental, possibilita a produção de cafés de qualidade com grande diversidade de sabores e aromas (ALVES et al., 2011). A região das Matas de Minas apresenta grande potencial para a produção de cafés de qualidade. Composta por 63 municípios, 36 mil produtores, sendo 80% destes com menos de 20 ha, onde o cafeeiro é cultivado predominantemente a pleno sol (REGIÃO DAS MATAS DE MINAS, 2017). Porém, frente às mudanças climáticas, a região poderá apresentar elevação da temperatura do ar e menor disponibilidade hídrica aos cafeeiros. Na Mogiana Paulista, importante região produtora de cafés de qualidade, cenários com aquecimento poderão levar à redução da área de cafés de bebida Mole. Enquanto que com resfriamento, a área de cafés de qualidade poderá aumentar (SILVA et al., 2009).

O cafeeiro arábica, por ser uma espécie que apresenta plasticidade fenotípica, tem a capacidade de expressar fenótipos distintos quando exposta a diferentes ambientes (GOTTHARD; NYLIN, 1995; BALIZA et al., 2012), podendo ser cultivado sob sombreamento ou a pleno sol. Em condições de cultivo a pleno sol, as altas temperaturas – se associadas a

déficit hídrico e alta luminosidade - promovem estresses e, como consequência, tem-se o rápido amadurecimento dos frutos, o que poderá resultar em cafés de baixa qualidade (MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006; BOTE; STRUIK, 2011). Assim, a temperatura, a luminosidade e o déficit hídrico tornam-se aspectos climáticos importantes no ambiente de produção do café, pois afetam diretamente sua fisiologia. Nos anos de 2014 e 2015, em períodos críticos de enchimento de grãos nas principais regiões produtoras do Brasil houve déficit hídrico associado às altas temperaturas. Nestas condições o consórcio de café e macaúba, com cerca de 4,0 m de distância entre as linhas dessas culturas, resultou em maior produtividade e rendimento dos grãos comparativamente ao pleno sol (MOREIRA et al., 2018).

De fato, o cultivo de café associado a outras espécies pode ser uma alternativa, uma vez que promove reduções da temperatura do ar e, em alguns casos, aumento da umidade do solo (MORAIS et al., 2006; BOTE; STRUIK, 2011; MOREIRA et al., 2018). Entretanto, existe uma grande controvérsia sobre sua produtividade. Em algumas experiências, os cafeeiros sombreados apresentam produções comparáveis as do café a pleno sol (RICCI et al., 2011; BOTE; STRUIK, 2011). Em outras, as produtividades do café sombreado são mais baixas (CAMPANHA et al., 2004; MORAIS et al., 2006; JARAMILLO-BOTERO et al., 2010; SANTOS et al., 2012), chegando a níveis insustentáveis para os agricultores. A produção do cafeeiro sombreado depende de uma série de fatores que incluem o clima do local, intensidade de radiação solar disponível e as práticas de manejo do sistema (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006 a).

O sombreamento influencia também o desenvolvimento reprodutivo dos cafeeiros (CAMPANHA et al., 2004), nestas condições tem-se um prolongamento do período de maturação dos frutos com a consequente formação de grãos maiores e mais pesados (MORAIS et al., 2006; VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; STRUIK, 2011), melhorando a qualidade física dos grãos.

Objetivo

Avaliar o efeito do sombreamento sobre o desenvolvimento reprodutivo e a produção do cafeeiro.

2.0 Resultados e Discussão

2.1. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro

No primeiro ano de avaliação (2015/16), houve no mês de novembro, no cultivo sombreado, um número mais elevado de frutos que no cultivo a pleno sol (Figura 1). Essa superioridade foi em função, principalmente, do número de frutos no estágio pós-florada que era de 38,93 frutos/ramo/planta e 13,68 frutos/ramo/planta nos cultivos sombreado e a pleno sol, respectivamente.

Esse maior número de frutos no cultivo sombreado pode ser devido a uma maior floração. No entanto, estudos prévios mostram que a sombra artificial (ALVIM, 1977; MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006) ou a sombra de árvores (BEER et al., 1998) reduz a carga de frutos do café através de seus efeitos na fisiologia das plantas, como internódios mais longos, menor número de nós frutíferos e menor indução de flores, o que reduziria o número de frutos no estágio inicial de desenvolvimento reprodutivo. O efeito inibidor do sombreado na formação de gemas florais pode ser devido ao maior nível de giberelinas à sombra, conforme Tesha e Kumar (1979), citado por Rena e Maestri (1986). Em estudo realizado na região da Zona da Mata de Minas Gerais, os cafeeiros sombreados por árvores apresentaram menor número de botões florais e frutos, em comparação aos cultivados a pleno sol (CAMPANHA et al., 2004). No presente trabalho, entretanto, como a tela sombreadora foi instalada em outubro de 2015, as gemas florais tiveram todo seu desenvolvimento a pleno sol, assim não deveriam apresentar diferenças quanto à quantidade de frutos no estágio pós-florada. Em cafeeiros cultivados a pleno sol e sombreados não houve diferença quanto as datas da antese e quantidade de flores, provavelmente porque as plantas não estavam sombreadas no momento da diferenciação floral ou durante o crescimento dos nós (MORAIS et al., 2008 b), assim como no presente trabalho.

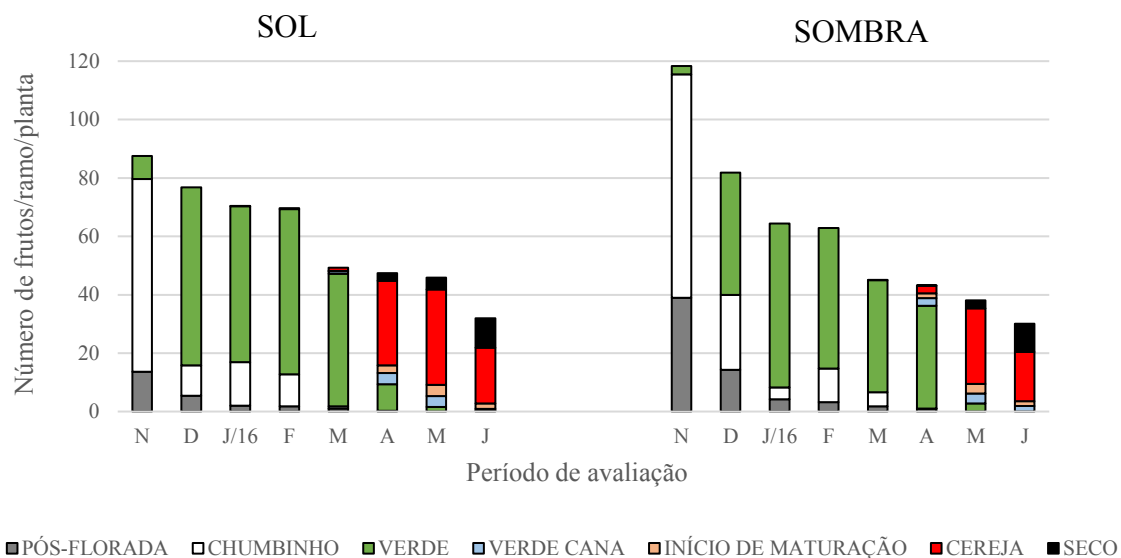


Figura 1 - Evolução média mensal do número de frutos nos diferentes estádios de desenvolvimento, por ramo, por planta de *Coffea arabica* L., no cultivo a pleno sol e sombreado. Período de novembro de 2015 até junho de 2016.

A floração no cafeeiro abrange vários eventos fisiológicos e morfológicos nas plantas, iniciando com a indução floral, evocação floral, iniciação ou diferenciação dos primórdios florais, desenvolvimento da flor e antese (RENA; MAESTRI, 1986). A radiação parece ter um maior efeito nas fases iniciais do desenvolvimento floral. Em ano de alta produção, os cafeeiros a pleno sol apresentam um atraso quanto a diferenciação das gemas, ocorrendo o inverso em ano de baixa produção (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2011). Esses autores, avaliando os efeitos da radiação sobre a diferenciação floral em cafeeiros sombreados e a pleno sol, encontraram nas plantas sombreadas, no final de julho, todas as gemas em estado reprodutivo, enquanto que as plantas a pleno sol apresentaram gemas indiferenciadas até o final de agosto. É importante ressaltar que neste trabalho, as plantas permaneceram 18 meses sob sombreamento antes do início da avaliação, ou seja, os cafeeiros já estavam aclimatados a esta condição e poderiam expressar diferenças quanto a floração. Resultados semelhantes foram encontrados na região da Zona da Mata de Minas Gerais, onde os cafeeiros sombreados por árvores apresentavam botões florais em setembro, o que não ocorreu na lavoura a pleno sol (CAMPANHA et al., 2004).

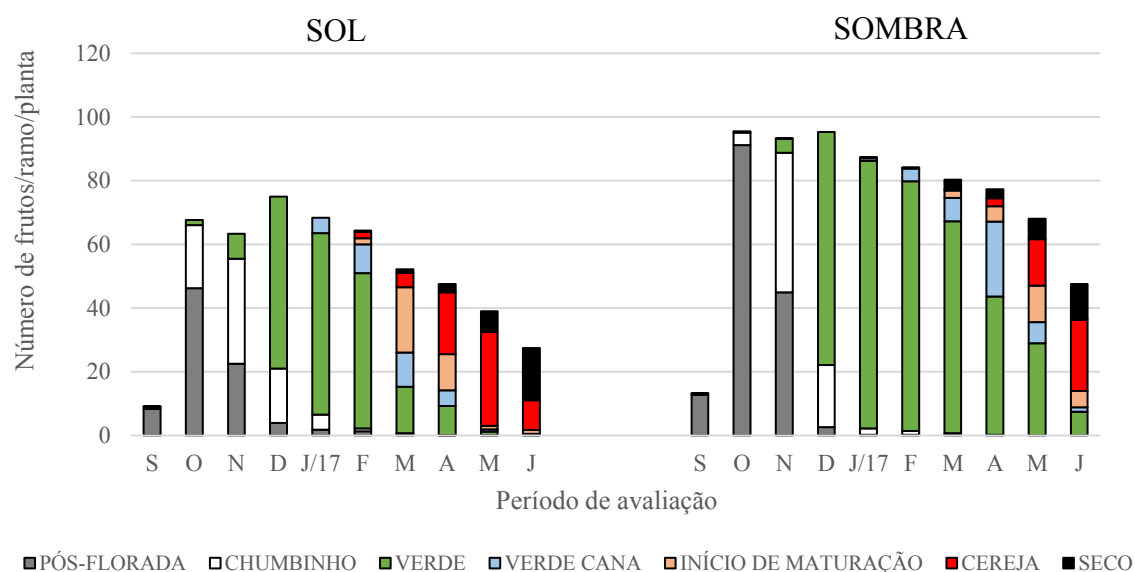


Figura 2 - Evolução média mensal do número de frutos nos diferentes estádios de desenvolvimento, por ramo, por planta de *Coffea arabica* L., no cultivo a pleno sol e sombreado. Período de setembro de 2016 até junho de 2017.

No segundo ano de avaliação, safra 2016/17, foi possível observar que em setembro/16 havia um baixo número de frutos em ambos os sistemas de cultivo, provavelmente resultado da primeira florada dos cafeeiros (Figura 2). No mês seguinte, em outubro/16, houve um aumento no número de frutos, possivelmente devido a uma segunda florada. No primeiro ano, safra 2015/16, as avaliações iniciaram-se em novembro/2015 quando provavelmente já havia ocorrido a segunda florada dos cafeeiros. Este aumento no número de frutos foi observado em cafeeiros com bloqueio de 50% da radiação, na avaliação de novembro em relação à de outubro (MORAIS et al., 2009). Os autores atribuem este aumento no número de frutos à segunda florada das plantas, tal como podemos observar na safra 2016/17.

Em outubro/2016, havia no cultivo sombreado um número de frutos mais elevado em comparação com o cultivo a pleno sol, o que pode estar relacionado ao maior pegamento da florada nas plantas sombreadas, assim como na safra anterior. Nesta safra as plantas já estavam há 12 meses sob sombreamento, e as gemas florais se desenvolveram sob esta condição, o que, segundo a literatura, poderia gerar menor número de frutos no cultivo sombreado em comparação com o a pleno sol, o que não foi observado.

Conforme discutido anteriormente, em condições de sombreamento os cafeeiros tendem a apresentar menor floração, sendo este um dos motivos para a menor produção dessas plantas em comparação com a pleno sol (VAAST et al., 2006). Essa hipótese está de acordo com o que foi encontrado por Campanha et al. (2004), avaliando o desenvolvimento reprodutivo de cafeeiros a pleno sol e em sistemas agroflorestais. Os autores encontraram nas plantas sombreadas um menor número de nós produtivos, de botões florais e uma menor produção em comparação com as plantas em cultivo a pleno sol. Possivelmente esses resultados podem ter sido causados pelo excesso de sombra promovido pelas árvores, uma vez que cafeeiros cultivados sob sombreamento denso com guandu, devido ao baixo nível de radiação incidente, apresentaram decréscimos na taxa fotossintética, maior altura, folhas maiores, mas com menor matéria seca (MORAIS et al., 2003). Porém, em estudos com sombreamento artificial na Zona da Mata de Minas Gerais, durante todo o ciclo de *Coffea arabica*, houve número mais elevado de botões florais, por nó produtivo, em plantas com bloqueio de 48% da radiação fotossinteticamente ativa, em comparação com as cultivadas a pleno sol (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006 b), o que sugere que este nível de radiação não limitou o pegamento das flores.

Na safra 2015/16, no cultivo sombreado, houve uma acentuada abscisão de frutos em relação ao primeiro mês de avaliação (Figura 1). Em março/16, nos dois sistemas de cultivo, houve mais uma queda no número de frutos, em relação ao mês anterior. A seguir houve um período de manutenção do número de frutos, e depois, em junho, mais uma queda. Neste último mês era esperado que houvesse queda no número de frutos em virtude do estágio de maturação do café. É sabido que no cafeeiro ocorre um aumento da queda dos frutos em virtude do amadurecimento e das condições climáticas, como ventos e chuvas. Na safra 2016/17, a abscisão dos frutos, no decorrer das avaliações, não foi tão acentuada quanto na anterior, em ambos os sistemas de cultivo (Figura 2). Essa menor queda no número de frutos contribuiu com o aumento na produção do cultivo sombreado em relação à safra 2015/16.

Cerca de 8 a 12 semanas após o florescimento, os frutos estão em rápida expansão e comumente estão sujeitos a cair (MONTROYA; SYLVAIN, 1962; HUXLEY; ISMAIL, 1969 citados por RENA; MAESTRI, 1986), especialmente sob o efeito de tensões hídricas. Estudo das relações hormonais ao longo do desenvolvimento dos frutos de café arábica no Quênia relata que nos estádios de desenvolvimento dos frutos correspondentes a chumbinho e início da granação, a concentração de giberelinas era baixa e do ácido abscísico alta (OPILLE, 1982

citado por RENA; MAESTRI, 1986). O autor supôs que a combinação de fitormônios poderia ser responsável pela queda de frutos do cafeeiro, mesmo em condições favoráveis de umidade.

É possível que o sombreamento tenha, inicialmente, causado a abscisão dos frutos que ainda estavam nos estádios iniciais de desenvolvimento, para adequar a carga das plantas, uma vez que houve maior pegamento da florada nessa condição. Assim, na safra 2016/17, com as plantas sombreadas há mais de um ano, a abscisão não foi tão intensa quanto no início das avaliações. Provavelmente porque nesta segunda safra, a carga de frutos por ramo foi menos elevada que na primeira safra. Os resultados encontrados na literatura, a respeito da abscisão e retenção de frutos em cultivos sombreados, são ainda contraditórios. Alguns trabalhos apontam aumento da abscisão e outros indicam que o sombreamento pode estar relacionado à retenção de frutos. Cafeeiros em sistemas agroflorestais apresentaram queda de cerca de 48% dos frutos, enquanto cafeeiros a pleno sol perderam apenas 11% (CAMPANHA et al., 2004). Há relato de queda no número de frutos tanto nos cafés a pleno sol quanto em cafeeiros sob 50% de sombreamento (MORAIS et al., 2009). Neste trabalho com diferentes períodos de sombreamento dos cafeeiros, os autores relatam que os maiores percentuais de abscisão de frutos ocorreram a pleno sol (21%) e quando os cafeeiros passaram menos tempo sombreados (12,55%). Entretanto, cafeeiros que passaram todo o ciclo sob 32% de sombreamento apresentaram maior índice de retenção de frutos que os cultivados a pleno sol (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006 b).

No cultivo a pleno sol, em abril/16, o número de frutos no estágio de cereja era mais elevado que no cultivo sombreado, onde havia um predomínio de frutos no estágio de maturação verde (Figura 1). Entretanto, em maio/16, mês em que ocorreu a colheita, o estágio de cereja era predominante em ambos os sistemas de cultivo (Figura 3), indicando similaridade de maturação entre eles. Isto pode ser devido ao pouco tempo de sombreamento que os cafeeiros foram submetidos até a primeira colheita. A sombra atrasa a maturação dos frutos, devido redução da temperatura e do estresse hídrico, em comparação com as plantas a pleno sol (VAAST et al., 2006; MORAIS et al., 2006).

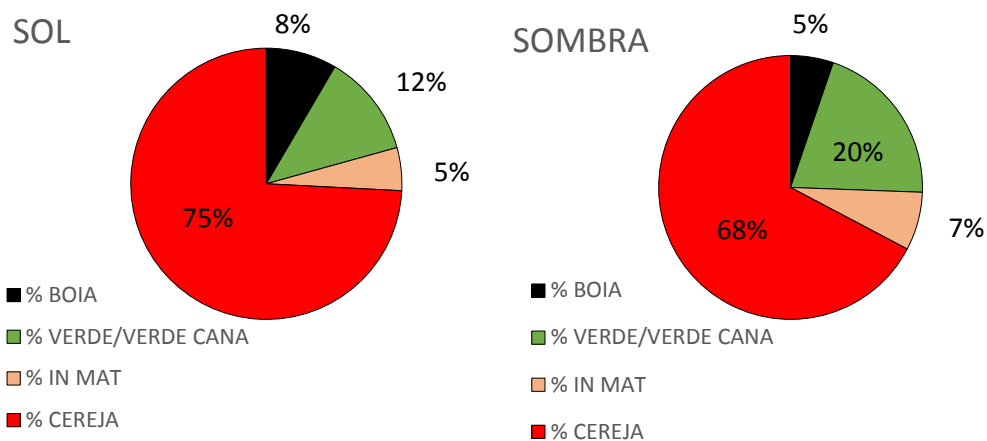


Figura 3 – Percentual de frutos nos diferentes estádios de maturação no momento da colheita, maio/2016.

Novamente, na safra seguinte (2016/17), no mês de abril/17, no cultivo a pleno sol, havia o predomínio de frutos no estágio de cereja em comparação com o cultivo sombreado no mesmo período de avaliação (Figura 2). Mesmo em maio/17, quando foi realizada a colheita, ainda havia grande número de frutos no estágio de maturação verde no cultivo sombreado (Figura 4), optando-se por realizar a colheita devido às condições climáticas da época, pois muitos frutos estavam caindo em consequência das chuvas e ventos. O cultivar Oeiras MG 6851 apresentou maior percentual de frutos verdes no cultivo sombreado, evidenciando que a sombra retarda a maturação dos frutos (RICCI et al., 2011).

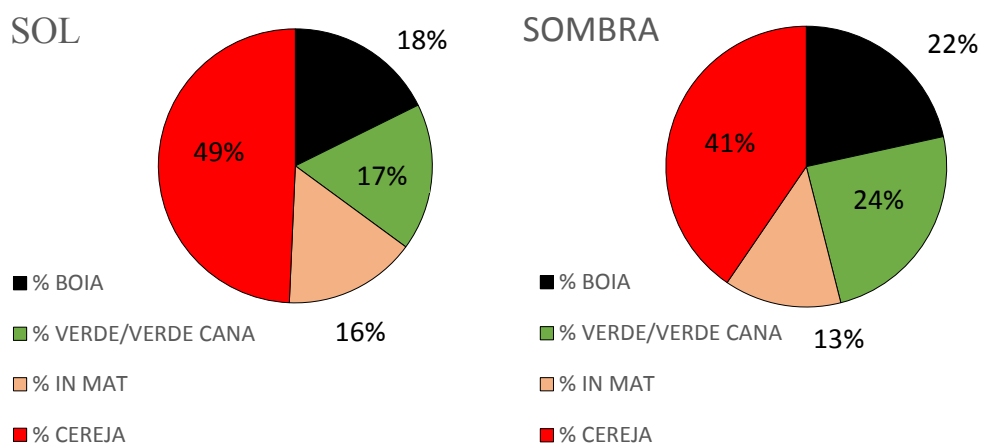


Figura 4 - Percentual de frutos nos diferentes estádios de maturação no momento da colheita, maio/2017.

2.1.1. Maturação dos frutos do cafeeiro

Os frutos começaram a amadurecer no cultivo a pleno sol a partir de março/16, enquanto que no sombreado começaram em abril/16. Nesta primeira safra, o máximo de frutos maduros ocorreu em maio/16, em ambos os cultivos (Figura 5). Na safra 2016/17, mesmo que em baixo percentual, já havia em fevereiro/17 frutos maduros em ambos os cultivos (Figura 6).

Na primeira colheita, com apenas sete meses de aplicação do sombreamento, a maturação dos frutos foi similar entre os sistemas de cultivo. Já na segunda, com dezenove meses de sombreamento ininterrupto, houve um atraso na maturação dos frutos do cultivo sombreado. No cultivo a pleno sol, o percentual máximo de frutos no estágio cereja foi encontrado em maio/17. Enquanto que no cultivo sombreado, esse percentual máximo ocorreu em junho/17, com 42,5% de frutos cereja.

O atraso na maturação dos frutos no cultivo sombreado está de acordo com outros autores. O sombreamento de 45%, em cafeeiros na Costa Rica, promoveu o atraso da maturação dos frutos em cerca de um mês, afetando positivamente o tamanho dos grãos e a qualidade de bebida do café (VAAST et al., 2006). Este atraso na maturação dos frutos está relacionado com a diminuição da disponibilidade de luz e temperatura nos cultivos sombreados, enquanto no cultivo a pleno sol, com ambiente quente e alta luminosidade, os frutos amadurecem mais rápido. Além da temperatura e luminosidade, a ocorrência de deficiências hídricas acelera a maturação dos frutos (PETEK et al., 2009).

O sombreamento reduziu a amplitude térmica, apresentando, em média, temperatura máxima de 1,0 °C abaixo daquela registrada no cultivo a pleno sol, ao passo que a temperatura mínima foi, em média, de 0,52 °C maior que a registrada no cultivo a pleno sol (Figura 7). Além disso, foram observadas menores precipitações no período entre os meses de abril e maio/2016 (Figura 8), o que pode ter afetado a maturação dos frutos. As altas temperaturas e deficiência hídrica anteciparam a maturação dos frutos de cafeeiros cultivados a pleno sol em comparação com os sombreados com guandu (*Cajanus cajan*) (MORAIS et al., 2006).

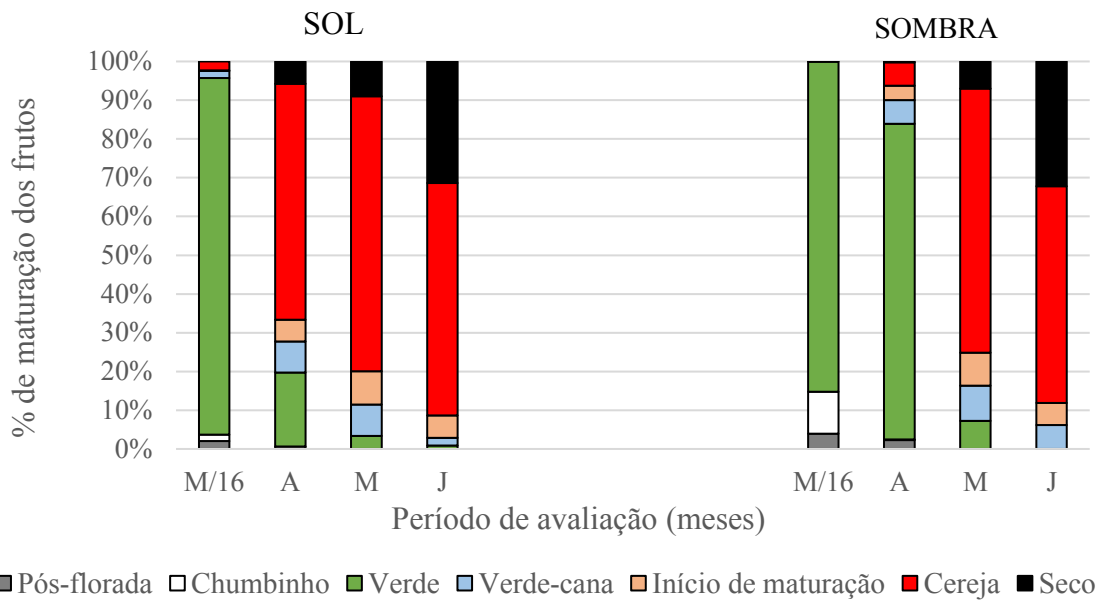


Figura 5 – Percentual de maturação dos frutos no período de avaliação de março a junho de 2016.

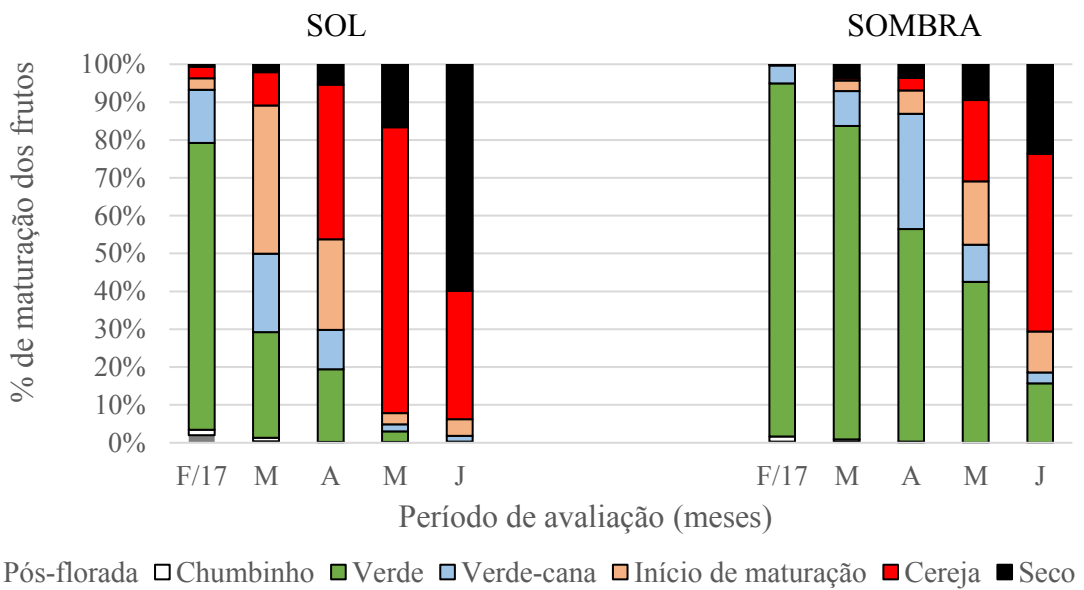


Figura 6 - Percentual de maturação dos frutos no período de avaliação de fevereiro a junho de 2017.

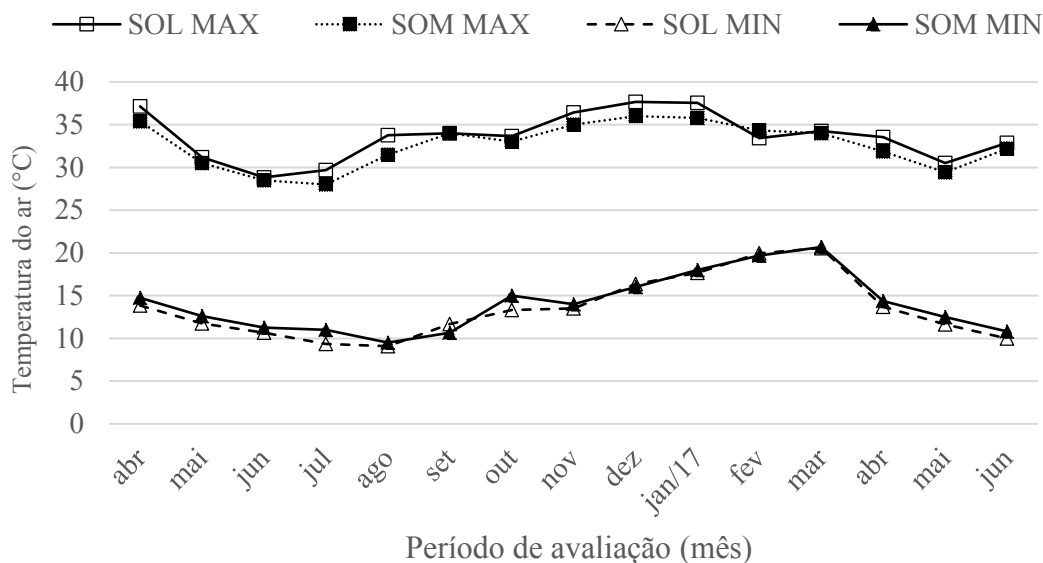


Figura 7 - Temperaturas máximas (MAX) e mínimas (MIN) do ar (°C) observadas nos cultivos a pleno sol (SOL) e sombreado (SOM) de café arábica (*Coffea arabica* L.), de abril de 2016 a junho de 2017.

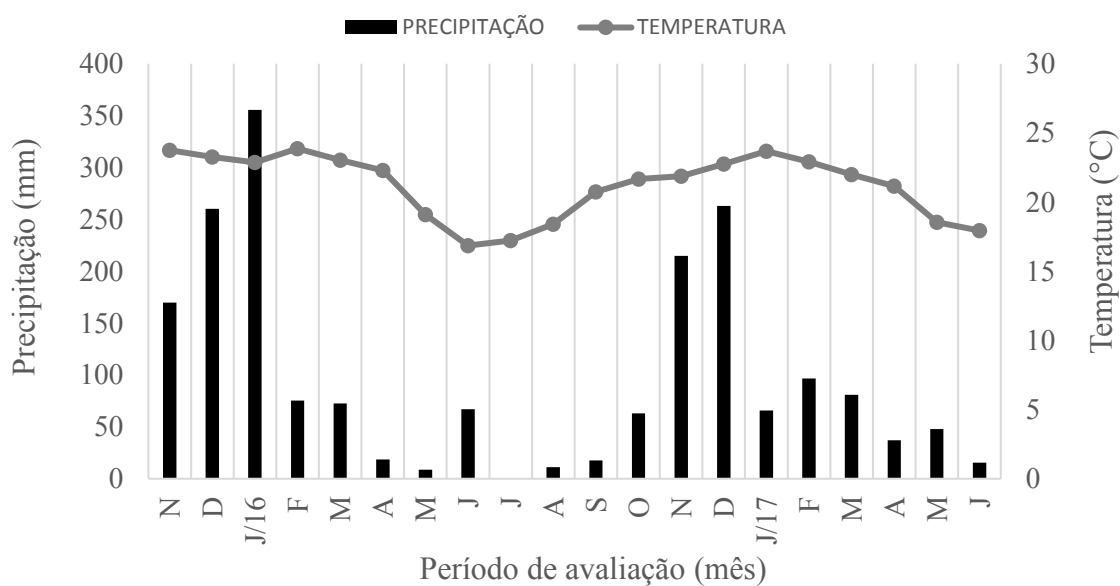


Figura 8 - Temperatura média (°C) e precipitação (mm) mensal, observadas na estação meteorológica da UFV, durante o período de avaliação, de novembro de 2015 a junho de 2017.

Os resultados encontrados, nesses vinte meses de avaliação, sugerem que os cafeeiros sombreados apresentaram maior pegamento da florada e mantêm seus frutos no estágio de

maturação verde por, aproximadamente, um mês a mais que os cafeeiros cultivados a pleno sol, atrasando assim a maturação.

2.2. Produção e rendimento do cafeeiro

2.2.1. Produção de café fresco

Não houve influência do sistema de cultivo sobre a produção de café fresco ($p \geq 0,05$), porém houve diferença entre as safras avaliadas ($p < 0,05$). Na safra 2016/17, a produção foi maior que na safra anterior (Tabela 2).

Tabela 2 – Influência das safras sobre a produção de café fresco ($t\ ha^{-1}$).

| Safras | Produção de café fresco ($t\ ha^{-1}$) |
|---------|--|
| 2015/16 | 7,79 b |
| 2016/17 | 13,57 a |
| CV (%) | 22,76 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p \geq 0,05$).

A produção média de cafeeiros a pleno sol e sombreado foi de $10,85\ t\ ha^{-1}$ e $10,51\ t\ ha^{-1}$, respectivamente. Cafeeiros cultivados a pleno sol e sob sombreamento artificial, apenas durante o desenvolvimento das gemas florais, também não apresentaram diferenças quanto à produção de café fresco (MORAIS et al., 2009). Isso significa que o sombreamento após ou durante o desenvolvimento das gemas florais não interfere na produção total de café do ano seguinte. O aumento na produção da segunda safra ocorreu provavelmente porque se tratam das primeiras produções após a recepa dos cafeeiros, que ocorreu em novembro de 2014. Na Zona da Mata de Minas Gerais, Jaramillo-Botero et al. (2010) avaliaram por seis anos e somente encontraram efeito do sombreamento sobre a produção do cafeeiro após três anos, sendo que esses efeitos se tornaram mais intensos após o início do período de altas produtividades.

2.2.2. Café beneficiado

Assim como para a produção de café fresco ($t\ ha^{-1}$), não houve influência do sistema de cultivo sobre a produção de café beneficiado ($p \geq 0,05$), porém houve diferença entre as safras avaliadas ($p < 0,05$). Na safra 2016/17, a produção foi maior que na safra anterior (Tabela 3).

Tabela 3 – influência das safras sobre a produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹).

| Safras | Produção de café beneficiado (sacas ha ⁻¹) |
|---------|--|
| 2015/16 | 23,82 b |
| 2016/17 | 41,46 a |
| CV (%) | 22,76 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p \geq 0,05$).

A produção média de café beneficiado provenientes de cultivos a pleno sol e sombreado foi de 33,16 sc ha⁻¹ e 32,13 sc ha⁻¹, respectivamente. Em experimentação realizada na Zona da Mata Mineira, cafeeiros a pleno sol apresentaram comportamento bianual com produção média de 44,1 sc ha⁻¹ café beneficiado. Plantas sob 48% de sombra apresentaram produção média de 34,9 sc ha⁻¹, contudo a bienalidade na produção foi atenuada na medida em que aumentou o nível de sombreamento. (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010). Em outro trabalho realizado na mesma região, a produtividade média de duas safras seguidas foi equivalente 8,6 sc ha⁻¹ em cafeeiros sombreados por árvores, contra 40 sc ha⁻¹ em cultivo a pleno sol (CAMPANHA et al., 2004). No Rio de Janeiro, foi avaliada a produtividade de seis cultivares de café, dentre elas Oeiras MG 6851, em cultivo a pleno sol (37,5 sacas ha⁻¹) e sob sombreamento (39,6 sacas ha⁻¹), não houve influência dos sistemas de cultivo (RICCI et al., 2011). Estes resultados indicam que a produção do cafeeiro sombreado depende de uma série de fatores que incluem o clima, intensidade de radiação solar do local, tipo de solo e as práticas de manejo do sistema (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006 a).

2.2.3. Rendimento

O rendimento do café sombreado foi mais elevado que do cultivo a pleno sol, nas duas safras (Tabela 4). O rendimento é um importante parâmetro no cálculo de custos e receitas da lavoura (SILVA et al., 2008). Esses autores observaram menores produtividades e rendimentos em cafeeiros cultivados em sequeiro, comparativamente aos irrigados.

Tabela 4 – Rendimento do café (%). Média ± erro padrão da média.

| Sistema de cultivo | Rendimento médio do café (%) | |
|--------------------|------------------------------|---------------|
| | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Pleno Sol | 46,74 ± 0,57 | 48,54 ± 0,44 |
| Sombreado | 52,02 ± 0,56 | 57,45 ± 0,51 |

No presente estudo os cafeeiros também foram cultivados em sequeiro, porém a umidade do solo pode ser um dos fatores que contribuem para o maior rendimento do café em cultivo sombreado. Em ano de forte seca na região da Zona da Mata Mineira, como foi em 2014, cafeeiros cultivados com macaúba e localizados a maiores distâncias das palmeiras, apresentaram rendimento mais elevado que os cafés cultivados a pleno sol (MOREIRA et al., 2018). A presença do componente arbóreo contribui na formação de um microclima com temperaturas amenas e menor incidência de ventos, o que contribui para a conservação da umidade presente em cultivos sombreados (MATSUMOTO; VIANA, 2004; MORAIS et al., 2006; PEZZOPANE et al., 2007). Outro fator relacionado ao maior rendimento de cafeeiros sombreados é o maior tamanho e peso dos grãos em comparação com as plantas a pleno sol. Alguns autores observaram que cafeeiros sob sombreamento produzem frutos de maior peso e tamanho em comparação com os conduzidos a pleno sol, resultando assim em maior volume de café beneficiado (SOMPORN et al., 2012; SOUZA et al., 2013).

3.0 Conclusão

O sombreamento afeta o desenvolvimento reprodutivo dos cafeeiros atrasando a maturação dos frutos devido a formação de microclima mais ameno com menor incidência luminosa e menor amplitude térmica na lavoura.

O sombreamento não influencia a produção de café fresco ($t\ ha^{-1}$) e a produtividade de café beneficiado ($sacas\ ha^{-1}$), contudo aumenta o rendimento dos grãos de café beneficiado, nas primeiras safras a após a recepa dos cafeeiros.

Referências bibliográficas

Alves, H. M. R.; Volpato, M. M. L.; Vieirra, T. G. C.; Borém, F. M.; Barbosa, N. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, n.261, v.32, p.18-29, 2011.

Alvim, P. T. Factors affecting flowering of coffee. **Journal of Coffee Research**, n.7, v.1, p.15-25, 1977.

Baliza, D. P.; Cunha, R. L. da; Castro, E. M. de; Barbosa, J. P. R. A. D.; Pires, M. F.; Gomes, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v.7, n.3, p.250-258, 2012.

- Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D.; Somarriba, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforest System**, v.38, p.139-164, 1998.
- Bote, A. D.; Struik, P.; C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, v.3, n.11, p.336-341, 2011.
- Campanha, M. M.; Santos, R. H. S.; Freitas, G. B. de; Martinez, H. E. P.; Garcia, S. L. R.; Finger, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, 63: 75-82, 2004.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Safra 2017, Terceiro Levantamento**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v.4, n.3, p.1-107, 2017.
- Geromel, C.; Ferreira, L. P.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Ribeyre, F.; Sholz, M. B. dos S.; Pereira, L. F. P.; Vaast, P.; Pot, D.; Leroy, T.; Filho, A. A.; Vieira, L. G. E.; Mazzafera, P.; Marraccini, P. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.569-579, 2008.
- Gotthard, K.; Nylin, S. Adaptative plasticity and plasticity as an adaptation: a selective review of plasticity in animal morphology and life history. **Oikos**, v.74, n.1, p.3-17, 1995.
- Huxley, P. A.; Ismail, S. A. H. floral atrophy and fruit set in arabica coffee in Kenya. **Turrialba**, 19:345-354, 1969.
- ISO INTERNATIONAL STANDARD. **Green coffee**: determination of loss in mass at 105 °C: ISO 6673. Washington, 1983.
- Jaramillo-Botero, C.; Martinez, H. E. P.; Santos, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da américa latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.94-102, 2006 a.
- Jaramillo-Botero, C.; Santos, R. H. S.; Martinez, H. E. P.; Cecon, P. R.; Santos, C. R.; Perín, A. Desenvolvimento reprodutivo e produção inicial de cafeeiros sob diferentes níveis de sombreamento e adubação. **Revista Ceres**, 53(307): 343-349, 2006 b.
- Jaramillo-Botero, C.; Santos, R. H. S.; Martinez, H. E. P.; Cecon, P. R.; Fardin, M. P. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Sci. Agric.**, v.67, n.6, p.639-645, 2010.

- Matsumoto, S. N.; Viana, A. E. S. Arborização de cafezais na região Nordeste. In: Matsumoto, S. N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004, p.212.
- Montoya, L. A.; Sylvain, P. G. Aplicación de soluciones de azucar en aspersiones foliares, para prevenir la caída del grano de café. **Turrialba**, 12:100-101, 1962.
- Morais, H.; Marur, C. J.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.
- Morais, H.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C.; Koguishi, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p. 763-770, 2006.
- Morais, H.; Caramori, P. H.; Koguishi, M. S.; Ribeiro, A. M. de A. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v.67, n.1, p.257-260, 2008 a.
- Morais, H.; Marur, C. J.; Caramori, P. H.; Koguishi, M. S.; Gomes, J. C.; Ribeiro, A. M. de A. Desenvolvimento de gemas florais, floração, fotossíntese e produtividade de cafeeiros em condições de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.465-472, 2008 b.
- Morais, H.; Caramori, P. H.; Koguishi, M. S.; Gomes, J. C.; Ribeiro, A. M. de A. Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, v.39, n.2, p.400-406, 2009.
- Moreira, S. L. S.; Pires, C. V.; Marcatti, G. E.; Santos, R. H. S.; Imbuzeiro, H. M. A.; Fernandes, R. B. A. Intercropping of coffee with the palm tree, *macauba*, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, p. 379-390, 2018.
- Muschler, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems** 85: 131-139, 2001.
- Opile, W. R. **Hormonal relations in fruit Growth and development of *Coffea arabica* L. in Kenya**. 1982. 189p. Tese (Doutorado em Fisiologia). University of Nairobi.
- Petek, M. R.; Sera, T.; Fonseca, I. C. de B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v.68, n.1, p.169-181, 2009.

Pezzopane, J. R. M.; Pedro Júnior, M. J.; Thomaziello, R. A.; Camargo, M. B. P. de. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

Pezzopane, J. R. M.; Pedro Jr., M. J.; Gallo, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.256-264, 2007.

Queiroz-Voltan, R. B.; Fahl, J. I.; Carelli, M. L. C. Diferenciação floral em cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v.6, n.3, p.256-268, 2011.

Região das Matas de Minas. Disponível em: <http://www.matasdeminas.org.br/>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

Rena, A. B.; Maestri, M. Fisiologia do cafeeiro. In: Rena, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.13-85.

Ricci, M. dos S. F.; Costa, J. R.; Oliveira, N. G. de. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, v.6, n.1, p.44-54, 2011.

Santos, R.; Rodrigues, L.; Lima, C.; Jaramillo-Botero, C. Coffee Yield and Microenvironmental Factors in a Native Tree Agroforestry System in Southeast Minas Gerais, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 36, n.1, p.54-68, 2012.

Silva, A. V. L.; Camargo, M. B. P.; Moraes, J. F. L.; Carvalho, J. P. Clima e qualidade natural de bebida do café arábica na região Mogiana do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6, Vitória, ES, 2009. **Resumos expandidos...** Embrapa Café, Brasília.

Silva, C. A.; Teodoro, R. E. F.; Melo, B. de. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3, p.387-394, 2008.

Somporn, C.; Kamtuo, A.; Theerakulpisut, P.; Siriamornpun, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of Coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92:1956-1963, 2012.

Souza, A. J. de; Matsumoto, S. N.; Malta, M. R.; Guimarães, R. J. Qualidade do café arborizado e a pleno sol, em manejo pós-colheita no sudoeste da Bahia. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.109-120, 2013.

Tesha, A. J.; Kumar, D. Effects of soil moisture, potassium and nitrogen on mineral absorption and Growth of *Coffea arabica* L. **Turrialba**, v.29, n.3, p.213-218, 1979.

Vaast, P.; Bertrand, B.; Perriot, J. J.; Guyot, B.; Génard, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of Coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86:197-204, 2006

Capítulo 2: Qualidade física de grãos de café arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento

Resumo

A qualidade física do café é um fator importante para a sua valorização durante a comercialização. Dentre os problemas que afetam a cultura está a broca do café, *Hypothenemus hampei*, que causa prejuízos na produtividade e na qualidade dos grãos. Em condições de elevação da temperatura do ar e menor disponibilidade hídrica, o sombreamento pode ser uma alternativa para o cultivo do cafeeiro, por reduzir as temperaturas máximas e contribuir para a conservação de água. Além disso, o sombreamento usualmente produz grãos maiores e mais pesados, com menos defeitos, o que pode influenciar o preço recebido pelos agricultores. Entretanto, o microclima formado nos cafezais sombreados pode aumentar o ataque de *Hypothenemus hampei*. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da sombra sobre a qualidade física dos grãos de café. Para isso, foram cultivados no município de Viçosa, MG, cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851, sombreados com malhas sombreadoras com bloqueio de 49,1% da radiação global incidente. Nas safras 2015/16 e 2016/17 foram colhidos frutos em diferentes estádios de maturação, entretanto foram processados, por preparo natural, apenas aqueles no estágio cereja. Após atingir entre 10% e 11% de teor de água, os frutos foram armazenados e depois beneficiados. Foi determinado o tipo do café (número total de defeitos presentes em uma amostra); o percentual de grãos atacados por *Hypothenemus hampei*; o percentual de grãos pretos, verdes, ardidos e mal granados; a classificação por peneiras dos grãos e o peso de 1000 sementes. Foram utilizadas cinco repetições de cada sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e os resultados foram interpretados pelo teste *t* a 5% de probabilidade. O número total de defeitos nos grãos dos dois sistemas de cultivo, nas duas safras, foi elevado. Estatisticamente não houve diferença quanto ao tipo do café para grãos provenientes de cultivo a pleno sol e sombreado, nas duas safras. Na safra 2016/17, houve um aumento no percentual de grãos brocados em relação à anterior, porém não houve diferença entre os sistemas de cultivo. Não foram encontrados grãos pretos nos dois sistemas de cultivo, nas duas safras. Os defeitos grãos verdes e ardidos foram baixos e não diferiram entre os sistemas de cultivo, nas duas safras. O percentual de grãos mal granados foi mais elevado no cultivo a pleno sol, na safra 2016/17. Nas duas safras, o percentual de grãos classificados como chato graúdo foi mais elevado no cultivo sombreado. Enquanto que os percentuais de grãos chato médio, miúdo e moca foram mais elevados no cultivo a pleno sol. Houve influência do sistema de cultivo sobre o peso de 1000 sementes, apenas na safra 2016/17. Grãos provenientes do cultivo sombreado foram mais pesados que os grãos do cultivo a pleno sol. A sombra promoveu a formação de um microclima mais ameno, com menor incidência luminosa e amplitude térmica, o que possivelmente influenciou a formação de grãos maiores e mais pesados, sem favorecer o ataque de *Hypothenemus hampei*.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., defeitos, *Hypothenemus hampei*, sombra

Abstract

The physical quality of coffee is an important factor for its appreciation during marketing. Among the problems affecting the crop is the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, which causes losses in grain yield and quality. Under conditions of elevated air temperature and lower water availability, shading may be an alternative to coffee cultivation, as it reduces maximum temperatures and contributes to water conservation. In addition, under shading usually the

grains are larger and heavier, with fewer defects, which can influence the price received by farmers. However, the microclimate formed under shading may increase the attack of *Hypothenemus hampei*. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of shading on the physical quality of the coffee beans. For this, coffee trees of the species *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851 were cultivated in the municipality of Viçosa, MG, shaded with shading meshes with blocking of 49.1% of the incident global radiation. In the 2015/16 and 2016/17 harvests, fruits were harvested at different maturation stages, however, only those in the cherry stage were processed by natural method. After reaching 10% to 11% of water content, the fruits were stored and then benefited. The type of coffee (total number of defects present in a sample) was determined; the percentage of grains attacked by *Hypothenemus hampei*; the percentage of black, green, burned and badly grained grains; the granulometry of the grains and the weight of 1000 seeds. Five replicates of each culture system (full sun and shade) were used and the results were interpreted by the *t* test at 5% probability. The total number of defects in the grains of the two cropping systems, in the two harvests, was high. There was statistically no difference in coffee type for grains from full sun and shade cultivation in the two harvests. In the 2016/17 crop, there was an increase in the percentage of brocaded grains in relation to 2015/16, but there was no difference between the cultivation systems, in the two harvests. No black grains were found in the two cropping systems, in the two harvests. The defects of green and burned grains were low and did not defer between the cropping systems, in the two harvests. The percentage of badly grained grains was higher in the full sun, in the 2016/17 harvest. In the two harvests, the percentage of grains classified as big was higher in the shaded cultivation. While the medium, small, and mocha grain percentages were higher in full sun cultivation. There was influence of the cultivation system on the weight of 1000 seeds, only in the 2016/17 crop. Grains from shaded cultivation were heavier than grains from full sun cultivation. The shading promoted the formation of a milder microclimate, with a lower thermal amplitude, which possibly influenced the formation of larger and heavier grains, without favoring the attack of *Hypothenemus hampei*.

Key words: *Coffea arabica* L., defectives, *Hypothenemus hampei*, shade

1.0 Introdução

No Brasil, a qualidade do café que será comercializado é avaliada em função das características físicas dos grãos, como coloração, umidade, tamanho e presença de defeitos; e das características sensoriais da bebida, principalmente seu aroma e sabor. Em relação aos defeitos presentes em um lote de café, existe um receio de que grãos defeituosos sejam torrados e misturados aos grãos sadios, contribuindo para o aparecimento de sabores desagradáveis, reduzindo a qualidade global da bebida (CASAS et al., 2017). Alguns compostos químicos presentes nos grãos defeituosos são responsáveis por essa depreciação da qualidade da bebida do café (FRANCA et al., 2005; MORAIS et al., 2007; CASAS et al., 2017). Os grãos pretos, verdes e ardidos, também chamados pela sigla PVA, são defeitos intrínsecos dos grãos e causados, principalmente, por colheitas atrasadas ou mesmo de frutos imaturos, e por problemas com fermentação durante a secagem (TOLEDO; BARBOSA, 1998; MATIELLO et al., 2005; DAL MOLIN et al., 2008).

Grãos classificados como mal granados e brocados também são considerados defeitos intrínsecos (BRASIL, 2003). Os defeitos extrínsecos dos grãos são aqueles relacionados com impurezas como cascas, paus, pedras, torrões, ou ocasionados por imperfeições no próprio beneficiamento, como grão marinho e café em coco (BRASIL, 2003). No momento da comercialização do café, os defeitos encontrados nas amostras são separados e pesados a fim de se determinar a porcentagem de catação. Este parâmetro interfere diretamente no preço do café, de forma que quanto mais defeitos, maior a catação e menor a valorização do produto (REZENDE et al., 2010).

Os grãos classificados como mal granados são aqueles que sofreram com déficit hídrico e ou com problemas nutricionais durante a fase de enchimento, apresentando assim pouca massa e, às vezes com a superfície enrugada (BRASIL, 2003). Os defeitos grãos brocados são aqueles atacados pela broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytidae), que causa prejuízos na produtividade e na qualidade, através da queda de frutos e perda de massa dos grãos (REIS et al., 2010). A presença desses grãos interfere no tipo e valor comercial do café, pois cada cinco grãos brocados, encontrados na amostra, correspondem a um defeito no sistema de classificação do café (BRASIL, 2003). O manejo da lavoura após a colheita pode influenciar na infestação de broca, na safra seguinte. Frutos deixados na planta ou no chão representam riscos, pois os insetos utilizam esses frutos remanescentes como abrigo, iniciando um novo ciclo (LOPES et al., 2009; MARÍÑO et al., 2017).

As condições climáticas como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação influenciam na produtividade e qualidade física dos grãos de café (MARTINS et al., 2015). Nos anos de 2014 e 2015, em períodos críticos de enchimento de grãos nas principais regiões produtoras do Brasil houve déficit hídrico associado às altas temperaturas. Nestas condições o consórcio de café e macaúba, com cerca de 4,0 m de distância entre as linhas dessas culturas, resultou em maior produtividade e rendimento dos grãos comparativamente ao pleno sol (MOREIRA et al., 2018). Além disso, o sombreamento influencia a qualidade física dos grãos através da redução no número de defeitos (SOUZA et al., 2013), aumento no percentual de grãos graúdos (MORAIS et al., 2006; VAAST et al., 2006; SOUZA et al., 2013) e aumento no peso dos grãos (RICCI et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; STRUIK, 2011). Assim, em condições de aumento da temperatura do ar e menor disponibilidade hídrica, o sombreamento pode ser uma alternativa para o cultivo do cafeeiro, além de influenciar positivamente a qualidade física dos grãos.

No Brasil predomina o modelo de cafeicultura em monocultivo a pleno sol. O sombreamento dos cafeeiros até os anos sessenta era uma prática comum nas regiões Norte e Nordeste e, também, no Sul do país em regiões sujeitas a geadas (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006). O cafeeiro arábica pode ser cultivado a pleno sol e sombreado, por ser uma espécie que apresenta plasticidade fenotípica, com a capacidade de expressar fenótipos distintos quando exposta a diferentes ambientes (GOTTHARD; NYLIN, 1995; BALIZA et al., 2012). Em condições de cultivo a pleno sol, as altas temperaturas – associadas a déficit hídrico e alta luminosidade - promovem estresses e, como consequência, tem-se o rápido amadurecimento dos frutos, o que poderá resultar em grãos menores e cafés de baixa qualidade (MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006; BOTE; STRUIK, 2011). Em cultivos sombreados, com redução da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, forma-se um microclima favorável à infestação de *Hypothenemus hampei*, (FELIZ MATOS et al., 2004; BOSSELMANN et al., 2009), o que também pode resultar em cafés de baixa qualidade. Entretanto, os resultados encontrados na literatura são inconclusivos em relação ao sombreamento e a infestação de *Hypothenemus hampei* (SOTO-PINTO et al., 2002; CAMPANHA et al., 2004 b; FELIZ MATOS et al., 2004; SOUZA et al., 2013).

Objetivo

Avaliar a influência do sombreamento sobre a qualidade física de grãos de frutos no estádio cereja.

2.0 Resultados e Discussão

2.1. Tipo do café

De acordo com a classificação oficial brasileira, os grãos provenientes do cultivo a pleno sol foram classificados como cafés do tipo 7-25 e 7-05 nas safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente. Os grãos do cultivo sombreado apresentaram, em média, número de defeitos inferior ao pleno sol, sendo classificados como cafés do tipo 7-20 e 7-05 nas safras 2015/16 e 2016/17, respectivamente. Entretanto, não houve influência do sistema de cultivo sobre o tipo do café ($p \geq 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 1 - Número total de defeitos em amostras de 300 g de grãos em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombra).

| Sistema de cultivo | Defeitos totais | |
|--------------------|-----------------|---------------|
| | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Pleno Sol | 257,89 A | 182,28 A |
| Sombreado | 241,13 A | 169,99 A |

Médias seguidas pela mesma letra, em cada safra, não diferem significativamente pelo teste t ($p \geq 0,05$).

O tipo do café é determinado em função do número total de defeitos e varia do 2 (amostra com 4 defeitos) até o 8 (amostra com 360 defeitos). O café pode ainda ser classificado como Fora de Tipo, caso a amostra apresente mais de 50 grãos pretos, ou mais de 100 grãos ardidos, ou mais de 100 grãos preto verde ou mais de 300 defeitos, excetuando-se os grãos quebrados, mal granados, conchas, miolos de concha e brocados limpo (BRASIL, 2003). Neste trabalho, nos dois sistemas de cultivo, nas duas safras, não foram encontrados os defeitos grãos pretos e preto verde, que são de acordo com a legislação brasileira, os defeitos de maior gravidade. No sudoeste da Bahia, cafés sombreados com grevíleas apresentaram menor número de defeitos em comparação com os cafés cultivados a pleno sol (SOUZA et al., 2013). Entretanto, os autores não conseguiram relacionar essa redução do número de defeitos com os efeitos do sombreamento.

2.2. Grãos atacados por *Hypothenemus hampei*

Não houve influência do sistema de cultivo sobre o percentual de grãos atacados por *Hypothenemus hampei*, nas duas safras ($p \geq 0,05$). Na safra 2015/16, nos dois sistemas de cultivo, o percentual de grãos brocados foi baixo, possivelmente por ter sido a primeira colheita após a recepa das plantas. Entretanto, na safra 2016/17, houve aumento nesse percentual, nos dois sistemas de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2 – Percentual de grãos brocados no café beneficiado grão cru em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombra).

| Sistema de cultivo | Grãos brocados | |
|--------------------|----------------|---------------|
| | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Pleno Sol | 0,042 A | 13,42 A |
| Sombreado | 0,134 A | 24,79 A |

Médias seguidas pela mesma letra, em cada safra, não diferem significativamente pelo teste t ($p \geq 0,05$).

No cultivo sombreado houve redução da amplitude térmica (Figura 1), o que já era esperado, uma vez que o sombreamento promove a formação de um microclima mais ameno com redução da incidência luminosa, menor amplitude térmica e maior umidade relativa dentro da lavoura (FELIZ MATOS et al., 2004; BOTE; STRUIK, 2011). Além desse microclima formado na lavoura sombreada, a manutenção de frutos secos na planta e no solo, decorrentes de uma colheita malfeita em cafezais próximos, podem contribuir para a sobrevivência do inseto e infestação da safra seguinte (LOPES et al, 2009; MARIÑO et al.,2017), o que pode ter gerado este aumento no percentual de grãos brocados, nos dois sistemas de cultivo, na safra 2016/17.

Os resultados encontrados em trabalhos realizados em várias regiões do Brasil e em outros países são inconclusivos a respeito da ocorrência de *Hypothenemus hampei* em cafeeiros sombreados. Alguns autores relatam que o sombreamento aumenta a infestação da broca; outros argumentam que o efeito da sombra na infestação está relacionado aos níveis de sombreamento e manejo da lavoura; enquanto outros encontraram maior infestação no cultivo a pleno sol ou, então, assim como no presente trabalho, não encontraram efeito significativo do sombreamento sobre a infestação de *Hypothenemus hampei*.

No sudoeste da Bahia, em cultivo sombreado com grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn), o percentual de grãos brocados foi menor quando comparado com os cafés cultivados a pleno sol (SOUZA et al., 2013). Possivelmente, no cultivo arborizado tem-se não só o microclima formado pelo sombreamento, mas também a presença de outros organismos, como, por exemplo, inimigos naturais como parasitoides (RODRÍGUEZ et al., 2017) e o fungo entomopatogênico, *Bauveria bassiana* (MARIÑO et al., 2016), que contribuem para o controle da *Hypothenemus hampei*.

Na região sul de Minas Gerais, as infestações da broca-do-café e do bicho-mineiro em lavoura cafeeira sob sistema agroflorestal não atingiram níveis de danos econômicos, provavelmente devido à diversificação vegetal existente no sistema (café, banana e eucalipto), a complexidade de interações biológicas responsáveis pela autorregulação das populações desses insetos e o microclima favorável ao desenvolvimento dos cafeeiros (LOPES et al., 2009).

Na Zona da Mata de Minas Gerais, houve maior infestação de doenças como ferrugem e cercosporiose em cafeeiros cultivados em ambiente sombreado com árvores. Entretanto tanto no sistema de cultivo a pleno sol quanto no sombreado, a infestação por *Hypothenemus hampei* e bicho mineiro foi baixa, porém com uma tendência de maior ataque na lavoura sob

sombreamento, possivelmente pelo microclima mais ameno, com menor amplitude térmica e maior umidade dentro da lavoura (CAMPANHA et al., 2004 b). É possível afirmar que no presente trabalho também houve uma tendência de maior ataque na lavoura sombreada, principalmente na safra 2016/17 (Tabela 2).

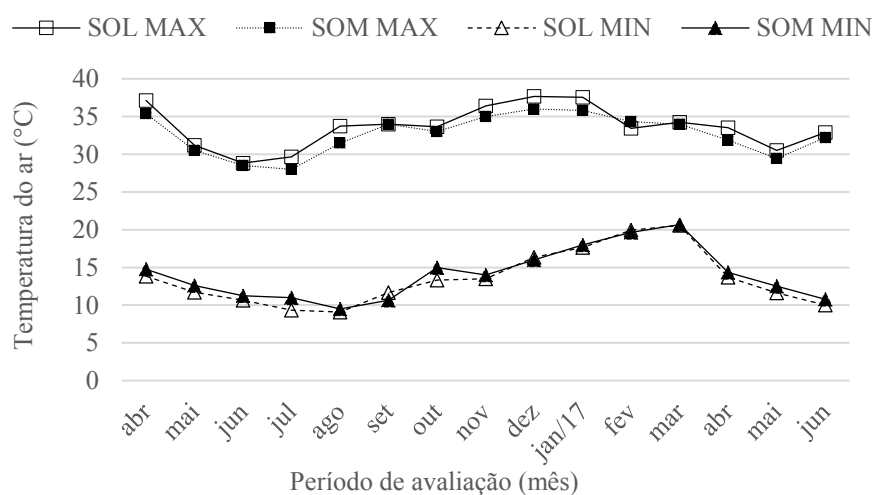


Figura 1 - Temperaturas máximas (MAX) e mínimas (MIN) do ar (°C) observadas nos cultivos a pleno sol (SOL) e sombreado (SOM) de café arábica (*Coffea arabica* L.), de abril de 2016 a junho de 2017.

Na Nicarágua, a incidência de *Hypothenemus hampei* foi avaliada em cafés cultivados a pleno sol e sob dois níveis de sombreamento. Em condições de sombra mais densa (60-70%) sob *Eugenia jambos*, houve de 17 a 25% de frutos brocados; em sombreamento médio (40-50%) sob *Gliricidia sepium* e a pleno sol, houve menos de 2% de grãos brocados. Os autores acreditam que as condições ambientais a pleno sol e sob sombreamento médio, como a temperatura do ar acima de 28 °C e a umidade relativa do ar abaixo de 74% foram determinantes para a baixa infestação (FELIZ MATOS et al., 2004).

Assim, a infestação de *Hypothenemus hampei* em cafeeiros sombreados parece depender do tipo e nível de sombreamento, das condições locais da lavoura e, também, do manejo empregado após a colheita do café (SOTO-PINTO et al., 2002; FELIZ MATOS et al., 2004; BOSSELMANN et al., 2009; LOPES et al., 2009; MARIÑO et al., 2016).

2.3. Grãos pretos, verdes, ardidos e mal granados

Não houve influência do sistema de cultivo sobre o percentual de grãos pretos, verdes e ardidos, nas duas safras ($p \geq 0,05$). Inclusive, o defeito grão preto não foi encontrado em nenhuma das safras. Na safra 2016/17 houve influência do sistema de cultivo apenas sobre o percentual de grãos mal granados ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3 – Percentual de grãos verdes, ardidos e mal granados no café beneficiado grão cru em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombra).

| Sistema de cultivo | Safr 2015/16 | | |
|--------------------|--------------|---------------|--------------------|
| | Grãos verdes | Grãos ardidos | Grãos mal granados |
| Pleno Sol | 3,89 A | 0,30 A | 4,79 A |
| Sombreado | 3,39 A | 0,13 A | 7,97 A |
| Sistema de cultivo | Safr 2016/17 | | |
| | Grãos verdes | Grãos ardidos | Grãos mal granados |
| Pleno Sol | 1,67 A | 0,064 A | 5,92 A |
| Sombreado | 2,54 A | 0,045 A | 1,87 B |

Médias seguidas pela mesma letra, em cada safra, não diferem significativamente pelo teste t ($p \geq 0,05$).

Os defeitos grãos verdes referem-se aqueles grãos imaturos, com película prateada aderida, com sulco ventral fechado e de coloração verde em diversos tons (BRASIL, 2003). Embora, nas duas safras, tenham sido selecionados e processados apenas frutos no estágio de maturação cereja, na safra 2015/16 os percentuais de grãos verdes foram mais elevados que na safra 2016/17, nos dois sistemas de cultivo. Neste caso, alguns frutos apresentavam-se com o exocarpo vermelho, porém com os grãos imaturos, causando o defeito grãos verdes. Devido às altas temperaturas do ambiente de cultivo, os cafeeiros cultivados a pleno sol podem sofrer uma aceleração do processo de maturação, o que poderá resultar em cafés de baixa qualidade (MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006; BOTE; STRUIK, 2011). Na colheita da safra 2015/16, os cafeeiros estavam há sete meses sob sombreamento e não houve atraso na maturação dos frutos. Enquanto que na safra 2016/17 houve atraso de cerca de um mês na maturação dos frutos cultivados sob sombreamento (Dados apresentados no Capítulo 1). Como as colheitas foram realizadas no mesmo mês, nos dois sistemas de cultivo, provavelmente havia frutos com o exocarpo vermelho, porém com grãos ainda imaturos.

O baixo percentual de grãos ardidos, nas duas safras avaliadas, pode estar relacionado ao cuidado durante o processamento dos frutos logo após a colheita, uma vez que a permanência dos frutos ensacados, à espera da secagem promove fermentações nos grãos (ANGÉLICO et

al., 2011). Os frutos dos dois sistemas de cultivo foram imersos em água após a colheita, o que ajuda na retirada de grande parte das impurezas que possam estar presentes nos frutos.

Na safra 2016/17, houve maior percentual de grãos mal granados no cultivo a pleno sol. Estiagens severas na fase de granação podem resultar em grãos mal granados (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Além disso, problemas nutricionais também podem influenciar a ocorrência desses grãos. No presente trabalho, todos os cafeeiros receberam adubação de acordo com as recomendações para a cultura. Entretanto, em janeiro/17 (período de enchimento dos grãos) foi observada menor precipitação, em comparação com o mesmo período do ano anterior (Figura 2). Outros trabalhos mostram que a presença do componente arbóreo contribui para a formação de um microclima com temperaturas amenas e menor incidência de ventos, o que contribui para a conservação da umidade presente em cultivos sombreados (MATSUMOTO; VIANA, 2004; MORAIS et al., 2006; PEZZOPANE et al., 2007). Além disso, o sombreamento pode contribuir com a manutenção de uma maior umidade no solo (MORAIS et al., 2006; MOREIRA et al., 2018).

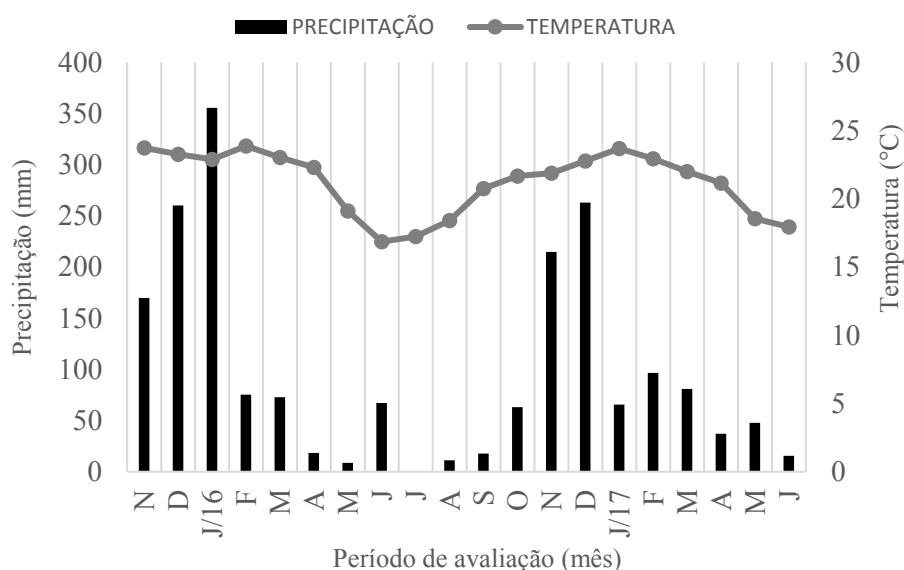


Figura 2 - Temperatura média (°C) e precipitação (mm) mensal, observadas na estação meteorológica da UFV, durante o período de avaliação, de novembro de 2015 a junho de 2017.

2.4. Classificação por peneiras

O sistema de cultivo influenciou o tamanho dos grãos, nas duas safras ($p < 0,05$). O sombreamento promoveu a formação de grãos maiores, que são os grãos retidos nas peneiras

19/18 e 17/64". Enquanto o percentual de grãos chato médio e miúdo foi mais elevado no cultivo a pleno sol (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação por peneiras do café beneficiado grão cru. Percentual de grãos chato graúdo (CH. GR.), chato médio (CH. ME.) e chato miúdo (CH. MI.).

| Sistema de cultivo | Safrá 2015/16 | | |
|--------------------|---------------|---------|---------|
| | CH. GR. | CH. ME. | CH. MI. |
| Pleno Sol | 60,87 B | 25,93 A | 1,92 A |
| Sombreado | 76,36 A | 16,24 B | 0,86 A |
| Sistema de cultivo | Safrá 2016/17 | | |
| | CH. GR. | CH. ME. | CH. MI. |
| Pleno Sol | 40,93 B | 29,02 A | 7,46 A |
| Sombreado | 68,80 A | 18,50 B | 0,99 B |

Médias seguidas pela mesma letra, em cada safra, não diferem significativamente pelo teste t ($p \geq 0,05$).

No presente trabalho não houve diferença entre as produções de café fresco ($t \text{ ha}^{-1}$) e de café beneficiado ($sc \text{ ha}^{-1}$) nos dois sistemas de cultivo, comprovando que a ocorrência de grãos maiores no cultivo sombreado não se deu em função de uma redução na produção dessas plantas. Na safra 2015/16, o percentual de grãos chato graúdo produzidos foi mais elevado que na safra 2016/17, havendo nesta safra um aumento no percentual de grãos médios e miúdos. O cultivar Oeiras MG 6851 tem potencial para produzir grãos graúdos e em diferentes ambientes de Minas Gerais apresentou mais de 60% de grãos classificados em peneira 16 e acima (CARVALHO et al., 2012). Frutos de café desenvolvidos em condição de sombreamento são maiores que aqueles provenientes de cultivos a pleno sol (VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; VOS, 2017). Entretanto, no presente estudo, tal comportamento foi verificado somente para grãos classificados como chato graúdo, que são grãos retidos nas peneiras 17 e acima. Resultados semelhantes foram encontrados com cafeeiros da variedade Catimor, em regiões sub-ótimas para o café na Costa Rica, onde o aumento dos níveis de sombreamento proporcionou aumento no percentual de cafés classificados como chato graúdo (MUSCHLER, 2001). Em cultivo sombreado com grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn), no sudoeste da Bahia, o percentual de grãos chato graúdo foi superior em comparação com os grãos provenientes do cultivo a pleno sol (SOUZA et al., 2013). O microclima formado pelo sombreamento promove um atraso na maturação dos frutos. Assim, em cultivo sombreado os frutos passam por um maior período de desenvolvimento, produzindo grãos maiores (VAAST et al., 2006; RICCI et al., 2011; BOTE; VOS, 2017). Neste trabalho foi verificado atraso de um mês na maturação dos frutos do cultivo sombreado apenas na safra 2016/17. Entretanto, a colheita teve de ser

realizada no mesmo mês que os do cultivo a pleno sol, devido às condições climáticas da época, pois muitos frutos estavam caindo em consequência das chuvas e ventos.

Na safra 2015/16 houve influência do sistema de cultivo apenas sobre os grãos moca médio ($p < 0,05$). Na safra 2016/17, houve influência do sistema de cultivo ($p < 0,05$) sobre todas as categorias de grãos moca, com percentual mais elevado nos grãos de cultivo a pleno sol (Tabela 5).

A ocorrência de grãos moca está relacionada não só com problemas genéticos (BORÉM, 2008), mas também com fatores ambientais, como o estresse hídrico (SILVA et al., 2011). São escassos os trabalhos onde comparam-se a ocorrência de grãos moca em cultivos a pleno sol e sob sombreamento. Entretanto, nessa condição de cultivo tem-se uma alteração no microclima do cafezal, com redução da incidência luminosa, temperatura máxima do ar e aumento no teor de água nas camadas de 0-10 cm do solo em cultivo de café com guandu (MORAIS et al., 2006) e de 0-20 cm do solo em lavoura cafeeira consorciada com macaúbas e localizadas a maiores distâncias das palmeiras (MOREIRA et al., 2018), o que pode contribuir para a redução do estresse hídrico de cafeeiros cultivados sob essas condições e consequentemente, uma redução na produção de grãos moca.

Tabela 5 - Classificação por peneiras do café beneficiado grão cru. Percentual de grãos moca graúdo (MC. GR.), moca médio (MC. ME.) e moca miúdo (MC. MI.).

| Sistema de cultivo | Safr 2015/16 | | |
|--------------------|--------------|---------|---------|
| | MC. GR. | MC. ME. | MC. MI. |
| Pleno Sol | 8,67 A | 1,95 A | 0,80 A |
| Sombreado | 5,04 A | 0,75 B | 0,63 A |
| Sistema de cultivo | Safr 2016/17 | | |
| | MC. GR. | MC. ME. | MC. MI. |
| Pleno Sol | 15,72 A | 5,45 A | 1,38 A |
| Sombreado | 9,49 B | 1,62 B | 0,61 B |

Médias seguidas pela mesma letra, em cada safra, não diferem significativamente pelo teste t ($p \geq 0,05$).

2.5. Peso de mil sementes

O sistema de cultivo influenciou o peso das sementes ($p < 0,05$) apenas na safra 2016/17. O peso de mil sementes do cultivo sombreado foi mais elevado que do a pleno sol, (Tabela 6). A produção de grãos maiores e mais pesados é, muitas vezes, relacionada com a baixa produção dos cafeeiros em cultivo sombreado. Entretanto, no presente trabalho não foi observada diferenças entre a produção de café fresco ($t \text{ ha}^{-1}$) e de café beneficiado (sacas ha^{-1}) no cultivo

a pleno sol e sombreado, assim como em outros trabalhos não foram observadas redução na produção para aumento no tamanho e peso dos grãos (MUSCHLER, 2001; SOMPORN et al., 2012).

Tabela 6 – Peso de mil sementes (g) em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombra).

| Sistema de cultivo | Peso de mil sementes (g) | |
|--------------------|--------------------------|---------------|
| | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Pleno Sol | 155,72 A | 144,03 B |
| Sombreado | 162,50 A | 164,46 A |

Médias seguidas pela mesma letra, em cada safra, não diferem significativamente pelo teste t ($p \geq 0,05$).

A influência do sombreamento sobre o peso dos grãos pode ser explicada através da redução da intensidade luminosa e da temperatura máxima do ar, com isso o período de amadurecimento dos frutos é prolongado, favorecendo o enchimento dos grãos e, conseqüentemente, o aumento do peso dos mesmos (SOMPORN et al., 2012; BOTE; VOS, 2017). Outros trabalhos também observaram que o sombreamento contribui para a produção de grãos maiores e com maior peso em comparação com o cultivo a pleno sol (BOTE; STRUIK, 2011; SOMPORN et al., 2012; BOTE; VOS, 2017).

3.0 Conclusão

O sombreamento promove a formação de grãos maiores e mais pesados. Sem, contudo, influenciar o tipo do café, e o percentual de grãos atacados por *Hypothenemus hampei*, em comparação com o cultivo a pleno sol.

Referências bibliográficas

- Angélico, C. L.; Pimenta, C. J.; Chalfoun, S. M.; Chagas, S. J. de R.; Pereira, M. C.; Chalfoun, Y. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. **Coffee Science**, v.6, n.1, p.8-19, 2011.
- Baliza, D. P.; Cunha, R. L. da; Castro, E. M. de; Barbosa, J. P. R. A. D.; Pires, M. F.; Gomes, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v.7, n.3, p.250-258, 2012.
- Borém, F. M. Processamento do café. In: **Pós-colheita do café**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2008. 631p.

- Bosselmann, A. S.; Dons, K.; Oberthur, T.; Olsen, C. S.; Ræbild, A.; Usma, H. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.129, p.253-260, 2009.
- Bote, A. D.; Struik, P.; C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, v.3, n.11, p.336-341, 2011.
- Bote, A. D.; Vos, J. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. **NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences**, v.83, p.39-46, 2017.
- Brasil. Instrução Normativa nº8, 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**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p.22-29.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.
- Camargo, A. P.; Camargo, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, n.1, p.65-68, 2001.
- Campanha, M. M.; Santos, R. H. S.; Freitas, G. B. de; Martinez, H. E. P.; Garcia, S. L. R.; Finger, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, 63: 75-82, 2004 a.
- Campanha, M. M.; Santos, R. H. S.; Freitas, G. B. de; Martinez, H. E. P.; Finger, F. L.; Garcia, S. L. R. Incidência de pragas e doenças em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo. **Revista Ceres**, v.51, n.295, p.391-396, 2004 b.
- Carvalho, A. M. de; Mendes, A. N. G.; Botelho, C. E.; Oliveira, A. C. B. de; Rezende, J. C. de; Rezende, R. M. Desempenho agrônomo de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, v.71, n.4, p.481-487, 2012.
- Casas, M. I.; Vaughan, M. J.; Bonello, P.; Gardener, B. Mc.; Grotewold, E.; Alonso, A. P. Identification of biochemical features of defective *Coffea arabica* L. beans. **Food Research International**, 95, p.59-67, 2017.

- Dal Molin, R. N.; Andreotti, M.; Reis, A. R. dos; Furlani Junior, E.; Braga, G. C.; Scholz, M. B. dos S. Caracterização física e sensorial do café produzido nas condições topoclimáticas de Jesuitas, Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.3, p.353-358, 2008.
- Feliz Matos, D.; Guharay, F.; Beer, J. Incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei*) em plantas de café a pleno sol y bajo sombra de *Eugenia jambos* y *Gliricidia sepium* em San Marcos, Nicaragua. **Agroforestería em las Américas**, n.41-42, p.56-61, 2004.
- Franca, A. S.; Oliveira, L. S.; Mendonça, J. C. F.; Silva, X. A. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, 90, p.89-94, 2005.
- Geromel, C.; Ferreira, L. P.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Ribeyre, F.; Scholz, M. B. dos S.; Pereira, L. F. P.; Vaast, P.; Pot, D.; Leroy, T.; Androcioli Filho, A.; Vieira, L. G. E.; Mazzafera, P.; Marraccini, P. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, 46, p.569-579, 2008.
- Gotthard, K.; Nylin, S. Adaptative plasticity and plasticity as an adaptation: a selective review of plasticity in animal morphology and life history. **Oikos**, v.74, n.1, p.3-17, 1995.
- ISO INTERNACIONAL STANDARD. **ISO 6673:2003**: green coffee: determination of loss in mass at 105°C. 2ª edição. Switzerland, 2003. 4 p.
- Jaramillo-Botero, C.; Martinez, H. E. P.; Santos, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da américa latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.94-102, 2006.
- Jaramillo-Botero, C.; Santos, R. H. S.; Martinez, H. E. P.; Cecon, P. R.; Fardin, M. P. Production and vegetative Growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Sci. Agric.**, v.67, n.6, p.639-645, 2010.
- Lopes, P. R.; Ferraz, J. M. G.; Theodoro, V. C. de A.; Fernandes, L. G.; Nicolella, G.; Lopes, I. M.; Cogo, F. D. Infestação da broca-do-café e do bicho mineiro em lavoura cafeeira orgânica conduzida em sistema agroflorestal. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2009, Vitória. **Resumos...**Embrapa Café, Brasília.
- Mariño, Y. A.; Pérez, M-E.; Gallardo, F.; Trifilio, M.; Cruz, M.; Bayman, P. Sun vs. shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.222, p.258-266, 2016.

- Mariño, Y. A.; Veja, V. J.; García, J. M.; Rodrigues, J. C. V.; García, N. M.; Bayman, P. The Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico: Distribution, Infestation, and Population per Fruit. **Journal of Insect Science**, v.17, n.2, p.1-8, 2017.
- Martins, E.; Aparecido, L. E. de O.; Santos, L. P. S.; Mendonça, J. M. A. de; Souza, P. S. de. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, v.10, n.4, p.499-506, 2015.
- Matiello, J. B.; Santinato, R.; Garcia, A. W. R.; Almeida, S. R.; Fernandes, D.R. **Cultura do café no Brasil: Novo manual de recomendações**. Edição 2005 – Revisada, ampliada e ilustrada. Rio de Janeiro: MAPA/SARC/PROCAFÉ – SPAE/DECAF, 2005. 436p.
- Matsumoto, S. N.; Viana, A. E. S. Arborização de cafezais na região Nordeste. In: Matsumoto, S. N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004, p.212.
- Morais, H.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C.; Kogushi, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p. 763-770, 2006.
- Morais, S. A. L. de; Aquino, F. J. T. de; Chang, R.; Nascimento, E. A.; Oliveira, G. S. de; Santos, N. C. dos. Análise química de café arábica (*Coffea arabica* L.) e grãos pretos, verdes e ardidos (PVA) submetidos a diferentes graus de torração. **Coffee Science**, v.2, n.2, p.97-111, 2007.
- Moreira, S. L. S.; Pires, C. V.; Marcatti, G. E.; Santos, R. H. S.; Imbuzeiro, H. M. A.; Fernandes, R. B. A. Intercropping of coffee with the palm tree, *macauba*, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, p. 379-390, 2018.
- Muschler, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems** 85: 131-139, 2001.
- Pezzopane, J. R. M.; Pedro Jr., M. J.; Gallo, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.256-264, 2007.
- Reis, P. R.; Souza, J. C. de; Santacecília, L. V. C.; Silva, R. A.; Zacarias, M. S. Manejo integrado das pragas do cafeeiro. In: Reis, P. R.; Cunha, R. L. da. (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: Epamig, 2010. p.573-688.

- Rezende, F. C.; Arantes, K. R.; Oliveira, S. dos R.; Faria, M. A. de. Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade. **Coffee Science**, v.5, n.3, p.229-237, 2010.
- Ricci, M. dos S. F.; Costa, J. R.; Pinto, A. N.; Santos, V. L. da S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.569-575, 2006.
- Ricci, M. dos S. F.; Rows, J. R. C.; Oliveira, N. G. de; Rodrigues, M. B. Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars under shaded and unshaded systems. **Scientia Agricola**, v.68, n.4, p.424-430, 2011.
- Rodríguez, D.; Cure, J. R.; Gutierrez, A. P.; Cotes, J. M. A coffee agroecosystem model: III. Parasitoids of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Ecological Modelling**, v.363, p.96-110, 2017.
- Silva, A. C. da; Lima, L. A.; Evangelista, A. W. P.; Martins, C. de P. Características produtivas do cafeeiro arábica irrigado por pivô central na região de Lavras/MG. **Coffee Science**, v.6, n.2, p.128-136, 2011.
- Somporn, C.; Kamtuo, A.; Theerakulpisut, P.; Siriamornpun, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of Coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92:1956-1963, 2012.
- Soto-Pinto, L.; Perfecto, I.; Caballero-Nieto, J. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, 55: 37-45, 2002.
- Souza, A. J. de; Matsumoto, S. N.; Malta, M. R.; Guimarães, R. J. Qualidade do café arborizado e a pleno sol, em manejo pós-colheita no sudoeste da Bahia. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.109-120, 2013.
- Toledo, J. L.; Barbosa, A. T. **Classificação e Degustação do Café**. Sebrae: Rio de Janeiro, 1998.
- Vaast, P.; Bertrand, B.; Perriot, J. J.; Guyot, B.; Génard, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of Coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86:197-204, 2006.

Capítulo 3: Composição química e físico-química do café grão cru cultivado sob sombreamento e submetido a diferentes processamentos pós-colheita

Resumo

A composição química e físico-química dos grãos de café pode ser influenciada pelo ambiente de cultivo e processamento pós-colheita. O sombreamento prolonga o período de maturação dos frutos, permitindo o acúmulo de fotoassimilados, enquanto que durante o processamento pós-colheita ocorrem processos metabólicos que podem alterar a composição bioquímica dos grãos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do sombreamento e do processamento pós-colheita sobre a composição química e físico-química de grãos crus. Para isso, cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851 foram mantidos a pleno sol ou sombreados com malhas sombreadoras com bloqueio de 49,1% da radiação global incidente. Nas safras 2015/16 e 2016/17 apenas frutos no estágio cereja foram processados, por preparo natural e cereja despulpado. Os tratamentos foram arrançados em parcelas subdivididas, com dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreamento artificial) nas parcelas e dois tipos de processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado) nas sub-parcelas. Em cada safra foram utilizadas cinco repetições de cada tratamento. Foram avaliados os teores de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), açúcares não-redutores (ANR), acidez total titulável (ATT), pH, índice de coloração (IC), fenóis totais (FT), condutividade elétrica (CE) e lixiviação de íons potássio (K LIX) dos grãos. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. O sistema de cultivo influenciou a ATT e o pH. O processamento pós-colheita influenciou os teores de AST, AR, ATT e pH. Houve efeito da interação entre o sistema de cultivo e o processamento pós-colheita sobre o IC, CE e K LIX. Grãos de cultivo a pleno sol apresentaram menores pH na safra 2015/16 e ATT na safra 2016/17. Grãos processados por preparo natural apresentaram maiores teores de ATT, menor pH e maiores teores de AST e AR que os cereja despulpado, indicando maiores acidez e doçura. Independentemente do sistema de cultivo, grãos cereja despulpado apresentaram maior IC e menor K LIX que os processados por preparo natural. Grãos do cultivo sombreado apresentaram menor valor de CE que os do cultivo a pleno sol, quando processados por preparo natural. Nas condições experimentais em que foi realizado o trabalho, o processamento pós-colheita mostrou ter maior influência sobre a composição química e físico-química dos grãos crus que o sistema de cultivo.

Palavra-chave: açúcares, acidez total titulável, *Coffea arabica* L., condutividade elétrica, índice de coloração, potássio lixiviado, preparo natural, cereja despulpado

Abstract

The chemical and physical-chemical composition of coffee beans can be influenced by the growing environment and post-harvest processing. The shading prolongs the maturation period of the fruits, allowing the accumulation of photosynthates, while during the post-harvest processing, metabolic processes occur that can alter the biochemical composition of the grains. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of shading and post-harvest processing on the chemical and physicochemical composition of raw grains. For this, coffee trees of the species *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG - 6851 were kept in full sun or shaded with shading meshes with blocking of 49.1% of the incident global radiation. In the 2015/16 and 2016/17 harvests, only cherry fruits stadium was processed, by dry and wet methods. The treatments were arranged in subdivided plots, with two cropping systems (full sun and artificial

shading) in the plots and two types of post-harvest processing (dry and wet methods) in subplots. Five replicates of each treatment were used in each harvest. The total soluble sugars (TSS), reducing sugars (RS), non-reducing sugars (NRS), total titratable acidity (TTA), pH, color index (CI), total phenols (TP), electrical conductivity (EC) and leaching of potassium ions (LK) of the grains. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the F test at 5% probability. The culture system influenced TTA and pH. Post-harvest processing influenced the levels of TSS, RS, TTA and pH. There was interaction effect between the cultivation system and post-harvest processing on CI, EC and LK. Grains from full sun cultivation showed lower pH in the 2015/16 and TTA in the 2016/17 harvest. Dry grains showed higher levels of TTA, lower pH and higher TSS and RS contents than those processed by wet process, indicating a higher acidity and sweetness. Regardless of the cultivation system, wet grains presented higher CI and lower LK than those processed by dry processing. Grains from shaded cultivation presented lower EC value than those from full sun cultivation when processed by dry processing. In the experimental conditions on the work was carried out, the post-harvest processing showed to have greater influence on the chemical and physicochemical composition of the raw grains than the culture system.

Key words: sugars, titratable total acidity, *Coffea arabica* L., electric conductivity, coloring index, leached potassium, dry processing, wet processing

1.0 Introdução

O café é um produto que alcança maior valor comercial à medida que melhora sua qualidade física e, principalmente, sensorial (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; BORÉM et al., 2013 a).

A qualidade final do café e sua composição química dependem de diversos fatores como o ambiente de cultivo (CHAGAS et al., 2005; SILVA et al., 2016; ZAIDAN et al., 2017), cultivares (SCHOLZ et al., 2013; SILVA et al., 2014), condução, manejo e adubação da lavoura (CLEMENTE et al., 2015 a; BOTE; VOS, 2017), colheita e estágio de maturação dos frutos (PIMENTA et al., 1997; CARVALHO JÚNIOR et al., 2003; ANGÉLICO et al., 2011), tipo de processamento pós-colheita (BORÉM et al., 2008; TAVEIRA et al., 2012; CLEMENTE et al., 2015 b), secagem e armazenamento dos grãos (CORADI et al., 2007; REINATO et al., 2007; BORÉM et al., 2013 a). Dentre os fatores que influenciam a composição química e físico-química dos grãos de café, ainda são escassos os estudos científicos, com maior controle dos processos e avaliações, sobre os efeitos do sombreamento da lavoura e processamento pós-colheita.

A composição química dos grãos beneficiados pode influenciar a qualidade da bebida devido a reações químicas que ocorrem durante a torra (FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006; BORÉM et al., 2008; ABRAHÃO et al., 2010). A sacarose, principal açúcar não-redutor presente nos grãos de café, é essencial para as reações de Maillard, além de ser responsável por

precursores do aroma e sabor da bebida (FARAH et al., 2006). A acidez total titulável e o pH dos grãos também são indicativos da qualidade do café (FRANCA et al., 2005), de forma que quanto maior a acidez, menor é a qualidade sensorial da bebida (CARVALHO et al., 1994). Os compostos fenólicos, principalmente os ácidos clorogênicos, presentes nos grãos de café também estão relacionados, de forma ainda controversa, com a qualidade do sensorial da bebida (PINTO et al., 2001; FARAH et al., 2006; ABRAHÃO et al., 2010), sendo diretamente relacionados ao microclima das regiões de cultivo, principalmente às variações térmicas (AVELINO et al., 2005). A cor dos grãos de café, além de ser importante para sua valorização comercial, também pode estar relacionada com a qualidade da bebida, uma vez que alterações na cor, como o branqueamento dos grãos, são indicativos da ocorrência de processos oxidativos (ABREU et al., 2015).

Em ambientes de menores altitudes, o sombreamento tem se mostrado benéfico à cultura do café, uma vez que reduz a intensidade luminosa incidente e a temperatura máxima do ar na lavoura, promovendo a formação de um microclima mais ameno (MUSCHLER, 2001; SOMPORN et al., 2012). Nestas condições tem-se um prolongamento do período de maturação dos frutos com a conseqüente formação de grãos maiores e mais pesados (MORAIS et al., 2006; VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; STRUIK, 2011), melhorando a qualidade física do café. Além disso, alguns estudos científicos citaram alterações na composição química dos grãos de cultivo sombreado, porém com resultados ainda controversos (VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; SOMPORN et al., 2012; SOUZA et al., 2013; BALIZA et al., 2014), indicando que a composição química dos grãos pode estar relacionada com a intensidade do sombreamento, estágio de maturação dos frutos e, também, com o processamento pós-colheita.

O manejo aplicado aos grãos de café após a colheita é tão importante quanto a qualidade adquirida na lavoura. Os primeiros passos são a lavagem e a separação logo após a colheita, evitando que os frutos fiquem amontoados em sacos na lavoura ou no terreiro, o que facilita a remoção de um grande número de microrganismos (PIMENTA, 2003) e permite a obtenção de produtos mais uniformes. No processamento por preparo natural os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo. Uma das variáveis do processamento por via úmida são os cafés despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente e com a mucilagem remanescente removida por fermentação biológica (BORÉM, 2008).

Durante o processamento pós-colheita podem ocorrer alterações na composição química e físico-química dos grãos devido ao maior ou menor tempo de secagem, período em que os grãos permanecem nos terreiros, expostos a injúrias e a ocorrência de fermentações desejáveis e indesejáveis, resultando em cafés com qualidade final diferente (SAATH et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; MALTA et al., 2013). A condutividade elétrica e lixiviação de íons potássio do interior dos grãos de café é um bom indicativo da qualidade do produto, pois, quanto maior o grau de desestruturação da parede celular dos grãos, maiores são esses valores (PIMENTA, 2003). Com o descascamento ou despulpamento tem-se a redução do tempo de secagem, além da eliminação de fontes de fermentação como a casca e a mucilagem, o que facilita a obtenção de cafés de boa bebida (OLIVEIRA et al., 2013). Entretanto, se a colheita for seletiva, secando-se cuidadosamente somente frutos maduros, sem a ocorrência de fermentações, é possível produzir cafés naturais de bebida Mole (BORÉM, 2008).

Objetivo

Avaliar o efeito do sombreamento e do processamento pós-colheita sobre a composição química e físico-química de grãos de café arábica.

2.0 Resultados e Discussão

2.1. Açúcares solúveis totais, redutores e não-redutores

Não houve influência do sistema de cultivo ($p \geq 0,05$) sobre os teores de açúcares solúveis totais (AST), redutores (AR) e não-redutores (ANR) nas duas safras avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2 – Teor de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR) em grãos de café cultivados a pleno sombreado, nas safras 2015/16 e 2016/17.

| Sistema de Cultivo | Safra 2015/16 | | |
|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | AST ^{ns} | AR ^{ns} | ANR ^{ns} |
| Pleno Sol | 6,15 | 0,67 | 5,48 |
| Sombreado | 5,30 | 0,48 | 4,81 |
| CV (%) | 15,95 | 32,22 | 17,98 |
| Sistema de Cultivo | Safra 2016/17 | | |
| | AST ^{ns} | AR ^{ns} | ANR ^{ns} |
| Pleno Sol | 5,91 | 0,48 | 5,42 |
| Sombreado | 6,76 | 0,39 | 6,36 |
| CV (%) | 22,81 | 28,57 | 24,18 |

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$).

A ausência de efeitos do sistema de cultivo sobre os teores de açúcares nos grãos de café pode ser explicada pela combinação entre o nível de sombreamento aplicado aos cafeeiros e a altitude do local de cultivo. Em altitudes menores (como no presente estudo), o sombreamento deveria reduzir a temperatura ambiente a ponto de alterar o metabolismo dos açúcares, porém como as temperaturas foram muito altas, o mesmo não causou efeito.

Em geral, alta altitude ou sombra causam uma diminuição na temperatura ambiente. Isso reduz o estresse induzido por calor nas plantas, aumenta a razão folha/fruto, a taxa fotossintética líquida e prolonga o período de maturação dos frutos (DAMATTA; RAMALHO, 2006; VAAST et al., 2006). Provavelmente, nas condições ambientais em que o experimento foi instalado (675 m de altitude), o nível de sombreamento aplicado (49,1%) não foi suficiente para reduzir a temperatura ambiente a ponto de alterar o metabolismo dos açúcares. No presente trabalho, o sombreamento reduziu a amplitude térmica, apresentando, em média, temperatura máxima 1,0 °C abaixo daquela registrada no cultivo a pleno sol, ao passo que a temperatura mínima foi, em média, de 0,52 °C maior que a registrada no cultivo a pleno sol (Figura 1). Entretanto, durante o desenvolvimento dos frutos, principalmente, da safra 2016/17, as temperaturas máximas do ar tanto no cultivo a pleno sol, quanto no sombreado estiveram acima de 30 °C, acelerando o desenvolvimento e o amadurecimento dos frutos (CAMARGO, 1985).

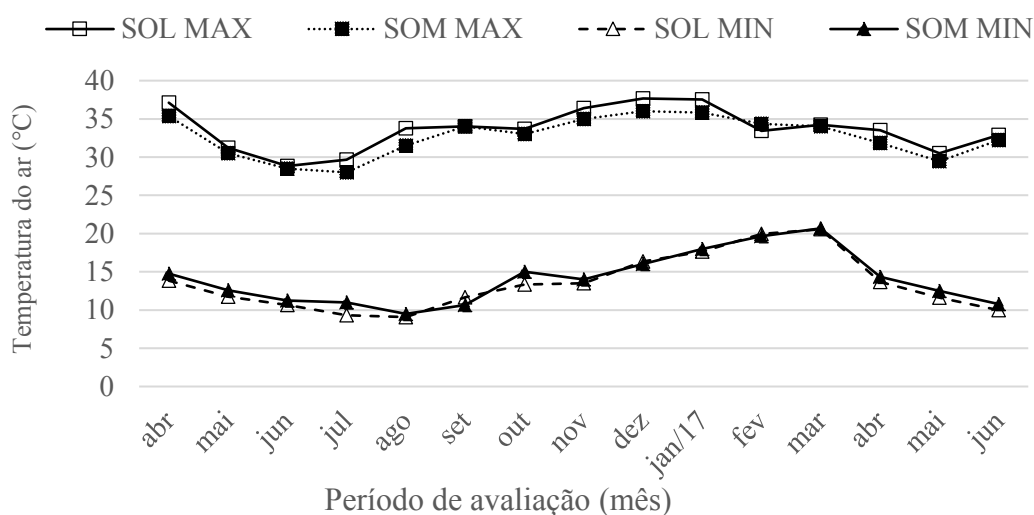


Figura 1 - Temperaturas máximas (MAX) e mínimas (MIN) do ar (°C) observadas nos cultivos a pleno sol (SOL) e sombreado (SOM) de café arábica (*Coffea arabica* L.), de abril de 2016 a junho de 2017.

Em altitude de 918 m, os teores de AST e ANR dos grãos de cultivo a pleno sol são próximos aos do cultivo com 90% de sombreamento e menores que de grãos com

sombreamento entre 35% e 50%. Em compensação, o teor de glicose (AR) aumenta à medida que aumenta o nível de sombreamento (BALIZA et al., 2014). Em cultivo arborizado com grevileas, no Sudoeste da Bahia, a 922 m de altitude, o sombreamento proporcionou grãos com maiores teores de AST e ANR (SOUZA et al., 2013). Entretanto, nesse estudo, os autores não informaram o nível de sombreamento causado pelas árvores. Na costa Rica, a 1180 m de altitude, com 45% de sombreamento, o teor de sacarose foi mais elevado em grãos de cultivo a pleno sol, na primeira safra avaliada; na segunda, não houve diferença estatística entre os sistemas de cultivo (VAAST et al., 2006). Em ambientes com altitude ainda mais elevada (entre 1200 e 1800 m), com sombreamento de 30% a 40%, houve um aumento no teor de sacarose nos grãos à medida que aumentava a altitude. No entanto, o aumento da sacarose foi maior em cultivados sem sombra (WORKU et al., 2018). Em ambiente de menor altitude, cerca de 610 m, com 50% de sombreamento, o teor de sacarose foi maior em grãos de cultivo a pleno sol, enquanto o teor de AR foi maior em grãos do cultivo sombreado (GEROMEL et al., 2008). Nesse mesmo estudo, não houve influência do sombreamento sobre o teor de AST.

Na safra 2015/16, houve influência da pós-colheita ($p < 0,01$) sobre o teor de AST e AR (Tabela 3), enquanto que na safra 2016/17 houve influência da pós-colheita ($p < 0,05$) apenas sobre o teor de AR.

Tabela 3 - Influência da pós-colheita sobre o teor de AST (%) e AR (%) dos grãos de café, nas safras 2015/16 e 2016/17.

| Safr 2015/16 | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| Pós-Colheita | AST (%) ** | AR (%) ** | ANR (%) ^{ns} |
| Natural | 6,12 | 0,76 | 5,36 |
| Cereja despoldado | 5,32 | 0,40 | 4,92 |
| CV (%) | 8,40 | 31,63 | 11,06 |
| Safr 2016/17 | | | |
| Pós-Colheita | AST (%) ^{ns} | AR (%) * | ANR (%) ^{ns} |
| Natural | 6,83 | 0,50 | 6,32 |
| Cereja despoldado | 5,84 | 0,37 | 5,46 |
| CV (%) | 26,93 | 25,56 | 27,64 |

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$); **Significativo a 1% de probabilidade; *Significativo a 5% de probabilidade

Os grãos naturais apresentaram maiores teores de AST e AR na safra 2015/16, e AR na safra 2016/17, em comparação com os grãos cereja despoldado. Tal fato pode ser justificado pelo maior tempo de contato da casca e da mucilagem que são rica em açúcares, podendo

ocorrer translocações desses componentes químicos para o interior do grão durante a secagem (BORÉM et al., 2008) e pela ocorrência de processos metabólicos durante a fermentação dos grãos despulpados (KNOPP et al., 2006; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010). Grãos naturais apresentam maiores teores de açúcares totais (CORADI et al., 2007; BORÉM et al., 2008), e maiores teores de açúcares redutores, como glicose e frutose, em comparação com cafés despulpados (KNOPP et al., 2006; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010).

2.2. Acidez total titulável e pH

Na safra 2015/16 não houve influência do sistema de cultivo ($p \geq 0,05$) sobre a ATT, porém o pH dos grãos do cultivo a pleno sol foi menor ($p < 0,05$) que dos grãos cultivados sob sombreamento (Tabela 4), indicando maior acidez. Nesta mesma safra, o processamento pós-colheita influenciou a ATT e o pH dos grãos ($p < 0,01$). Grãos processados por preparo natural apresentaram maior teor de ATT e menor pH que os cereja despulpado, indicando maior acidez nos grãos submetidos a este processamento pós-colheita.

Tabela 4 - Influência do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre a ATT (mL NaOH 100 g⁻¹) e o pH dos grãos de café, na safra 2015/16.

| Sistema de cultivo | ATT ^{ns} | pH [*] |
|--------------------|-------------------|-----------------|
| Pleno Sol | 119,91 | 5,45 |
| Sombreado | 109,65 | 5,54 |
| CV (%) | 11,06 | 1,32 |
| Pós-colheita | ATT ^{**} | pH [*] |
| Natural | 124,37 | 5,42 |
| Cereja despulpado | 105,20 | 5,56 |
| CV (%) | 6,65 | 1,48 |

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$); ^{**} Significativo a 1% de probabilidade; ^{*} Significativo a 5% de probabilidade.

O pH dos grãos de café é um indicativo de eventuais transformações dos frutos, como as fermentações indesejáveis que ocorrem na pré ou pós-colheita, originando defeitos e, conseqüentemente, a redução do seu valor e deterioração da bebida (FARAH et al., 2006; SIQUEIRA; ABREU, 2006). A diferença de pH dos grãos processados por preparo natural em relação aos cereja despulpado pode ter sido ocasionada pelo maior tempo para secagem dos grãos (aproximadamente vinte dias), provavelmente ocasionando pequenas fermentações. Entretanto, esses valores são aceitáveis para grãos crus, uma vez que cafés classificados como de bebida Mole e Dura apresentaram pH igual a 5,5 e 5,4, respectivamente (FRANCA et al.,

2005). Resultados semelhantes foram encontrados no Sudoeste da Bahia, onde os grãos naturais permaneceram em terreiro de secagem por aproximadamente quinze dias e apresentaram valor de pH menor que os grãos despulpados (LIMA et al., 2008). Grãos processados por preparo natural levam mais tempo para completar a secagem, em comparação com os cereja despulpado, devido a mucilagem e umidade presente nos frutos (BORÉM et al., 2008; LIMA et al., 2008; SOUZA et al., 2013).

Na safra 2016/17 houve influência isolada do sistema de cultivo ($p < 0,01$) e do processamento pós-colheita ($p < 0,05$) sobre a ATT dos grãos, mas não houve efeito destes sobre o pH ($p \geq 0,05$). Nesta safra, grãos de cafeeiros sombreados apresentaram maior ATT que os cultivados a pleno sol (Tabela 5), indicando maior acidez. Em relação ao processamento pós-colheita, assim como na safra anterior, os grãos naturais apresentaram maior ATT que os cereja despulpado, indicando maior acidez.

Tabela 5 - Influência do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre a ATT (mL NaOH 100 g⁻¹) e o pH dos grãos de café. Safra 2016/17.

| Sistema de cultivo | ATT ** | pH ^{ns} |
|--------------------|--------|------------------|
| Pleno Sol | 93,51 | 5,19 |
| Sombreado | 108,39 | 5,18 |
| CV (%) | 10,33 | 0,97 |
| Pós-colheita | ATT * | pH ^{ns} |
| Natural | 109,88 | 5,22 |
| Cereja despulpado | 92,02 | 5,15 |
| CV (%) | 13,57 | 1,76 |

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$); ** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

O teor de acidez titulável está relacionado com a concentração total de ácidos nos grãos (FRANCA et al., 2005) e é inversamente proporcional à qualidade do café, uma vez que aumentos na acidez coincidem com a diminuição da qualidade sensorial da bebida (CARVALHO et al., 1994; FRANCA et al., 2005; CLEMENTE et al., 2015), provavelmente devido à fermentações que os grãos podem ter sofrido. Os valores médios encontrados neste trabalho estão dentro dos padrões para cafés de qualidade (CARVALHO et al., 1994), indicando assim que as fermentações não foram excessivas e nem indesejáveis à qualidade, o que pode ser explicado pela secagem em camadas finas, com os grãos sendo revolvidos por, pelo menos, dez vezes ao dia, em processos mais esmerados e cuidadosos.

A diferença no teor de acidez pode ser devido à maior presença de açúcares nos grãos do cultivo sombreado, os quais podem servir de substrato para as fermentações que ocorrem e causam aumentos na acidez. Os grãos do cultivo a pleno sol e sombreado apresentaram teor médio de 5,91% e 6,76% de AST, respectivamente. Os frutos no estágio de maturação cereja apresentam todos os nutrientes em seus valores máximos e elevados teores de açúcares, o que pode contribuir para maior incidência da maioria dos microrganismos de ocorrência comum em café (PIMENTA, 2003). Além disso, outro fator que pode contribuir para as fermentações e, conseqüentemente, com o aumento no teor acidez, é a maior umidade presente nos frutos de cultivos sombreados em comparação com os de cultivo a pleno sol (SOUZA et al., 2013). Esse fato pode estar associado à presença do componente arbóreo na formação de um microclima com temperaturas amenas e menor incidência de ventos, o que contribui para a conservação da umidade presente nessa forma de cultivo (MATSUMOTO; VIANA, 2004; PEZZOPANE et al., 2007). Em ambientes com alta umidade, associado à temperaturas elevadas, as fases iniciais da fermentação, tanto no terreiro como no pé de café, são bastante rápidas para passar de desejáveis a indesejáveis (PIMENTA, 2003).

Grãos naturais também apresentam maior teor de umidade em comparação com os cereja despulpado, provavelmente por conter, no exocarpo, parte considerável da umidade presente na mucilagem (SAATH et al., 2012; SOUZA et al., 2013), o que levaria ao aumento na acidez. Além disso, nesse tipo de processamento pós-colheita, devido à secagem mais lenta, os grãos podem sofrer fermentações e, conseqüentemente, apresentar maior acidez que os grãos despulpados (LIMA et al., 2008; SAATH et al., 2012; MALTA et al., 2013). Essas fermentações nem sempre serão indesejáveis e prejudiciais à qualidade dos grãos desde que a secagem seja feita de forma adequada.

2.3. Índice de coloração

Houve interação entre o sistema de cultivo e o processamento pós-colheita ($p < 0,05$) sobre o índice de coloração (IC) dos grãos na safra 2015/16 (Tabela 6). Os grãos cereja despulpado apresentaram maiores valores de IC que os grãos naturais, quando os cafeeiros foram cultivados a pleno sol e sombreado.

Tabela 6 - Desdobramento da interação do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre o índice de coloração (IC) dos grãos de café. Safra 2015/16.

| Sistema de Cultivo | Pós-Colheita | |
|--------------------|--------------|-------------------|
| | Natural | Cereja despulpado |
| Pleno Sol | 0,2696 aB | 0,5402 aA |
| Sombreado | 0,3567 aB | 0,6302 aA |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

No presente trabalho, os grãos naturais demoraram mais tempo para completar a secagem que os despulpados, o que pode ter ocasionado reações oxidativas, com perda da coloração e, conseqüentemente, menor índice de coloração. Em função da presença da casca e mucilagem, grãos naturais demoram mais tempo para completar a secagem, em comparação com os despulpados. Assim como ocorreu com o pH, os menores valores para o índice de coloração dos grãos naturais podem ter sido ocasionados pelo maior tempo de secagem (LIMA et al., 2008).

Na safra 2016/17, houve influência isolada do sistema de cultivo ($p < 0,05$) e do processamento pós-colheita ($p < 0,01$) sobre o IC dos grãos.

Os grãos do cultivo a pleno sol apresentaram maiores valores de IC em comparação com os produzidos no cultivo sombreado (Tabela 7). Embora não existam trabalhos comparando a coloração de grãos de café produzidos nesses sistemas de cultivo, sabe-se que a coloração dos grãos pode variar em função do processamento pós-colheita, período de secagem e condições de armazenamento dos cafés (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; LIMA et al., 2008; ABREU et al., 2015). Grãos cereja despulpado, novamente, apresentaram maiores valores de IC em comparação com os naturais (Tabela 7). Grãos despulpados possuem naturalmente a coloração verde-azulada (CORRÊA et al., 2002) e mais intensa que os naturais (SIQUEIRA; ABREU, 2006; LIMA et al., 2008; ABREU et al., 2015), por isso frequentemente apresentam maior índice de coloração. Além disso, a ocorrência de reações oxidativas, com conseqüente branqueamento dos grãos, durante a secagem podem contribuir para as diferenças de coloração (CARVALHO et al., 1994).

Tabela 7 - Influência do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre o índice de coloração (IC) dos grãos de café. Safra 2016/17.

| Sistema de cultivo | IC (D. O. 425 nm) * |
|--------------------|---------------------|
| Pleno Sol | 0,83 |
| Sombreado | 0,70 |
| CV (%) | 15,82 |
| Pós-colheita | IC (D.O. 425 nm) ** |
| Natural | 0,53 |
| Cereja despulpado | 1,01 |
| CV (%) | 12,12 |

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

2.4. Fenóis totais

Não houve influência do sistema de cultivo ($p \geq 0,05$) e do processamento pós-colheita ($p \geq 0,05$) sobre o teor de fenóis totais nos grãos de café, nas duas safras avaliadas (Tabela 8).

Tabela 8 – Influência do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre o teor de fenóis totais em grãos de café, nas safras 2015/16 e 2016/17.

| Sistema de cultivo | Fenóis Totais (%) ^{ns} | |
|--------------------|---------------------------------|---------------|
| | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Pleno Sol | 5,13 | 4,11 |
| Sombreado | 4,89 | 4,22 |
| CV (%) | 7,82 | 7,78 |
| Pós-colheita | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Natural | 5,03 | 4,25 |
| Cereja despulpado | 4,99 | 4,07 |
| CV (%) | 5,28 | 6,40 |

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$).

A falta de efeito do sombreamento sobre o teor de compostos fenólicos totais pode estar relacionada com a intensidade de sombreamento aplicado e a altitude do local de cultivo, assim como ocorreu com os açúcares.

O teor de compostos fenólicos totais foi maior em grãos de cafeeiros cultivados sob sombreamento de lichias (*Litchi chinensis*), em comparação com grãos de cultivos a pleno sol e sob 50%, 60% e 70% de sombreamento artificial (SOMPORN et al., 2012). Entretanto, assim como no presente trabalho, os autores não observaram diferenças no teor desses compostos em grãos cultivados a pleno sol e sob 50% de sombreamento, provavelmente devido a diferença entre as temperaturas médias do ar no cultivo a pleno sol (31 °C), sob sombreamento de lichias (27 °C) e sob 50% de sombreamento (30 °C). Desta forma, mesmo com redução da amplitude

térmica no cultivo sombreado (Figura 1), o microclima formado em função do nível de sombreamento e das condições climáticas locais não permitiram diferenças no teor dos compostos fenólicos totais dos grãos dos dois sistemas de cultivo.

Assim, em relação à qualidade dos grãos devido aos compostos fenólicos totais, parece não haver diferenças na qualidade do café em função do sistema de cultivo e do processamento pós-colheita.

2.5. Condutividade elétrica e potássio lixiviado

Na safra 2015/16 houve influência isolada do sistema de cultivo ($p < 0,05$) e do processamento pós-colheita ($p < 0,01$) sobre a condutividade elétrica (CE) dos grãos, enquanto que o potássio lixiviado (K LIX) foi influenciado apenas pelo tipo de processamento pós-colheita ($p < 0,05$).

Grãos do cultivo sombreado apresentaram maiores valores de CE que aqueles a pleno sol. O processamento pós-colheita por preparo natural promoveu maiores valores de CE e K LIX nos grãos (Tabela 12).

Tabela 12 – Influência do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre a condutividade elétrica (CE) e potássio lixiviado (K LIX) dos grãos de café. Safra 2015/16.

| Sistema de cultivo | CE ($\mu\text{S g}^{-1}$ de amostra) * | K LIX ^{ns} |
|--------------------|--|---------------------|
| Pleno Sol | 153,63 | 4,79 |
| Sombreado | 173,63 | 4,94 |
| CV (%) | 8,22 | 12,34 |
| Pós-colheita | CE ($\mu\text{S g}^{-1}$ de amostra) ** | K LIX * |
| Natural | 174,50 | 5,10 |
| Cereja despolpado | 152,75 | 4,63 |
| CV (%) | 7,39 | 8,24 |

^{ns} Não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$); ** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de condutividade elétrica e íons potássio lixiviado indicam maiores danos às membranas dos grãos durante a secagem (BORÉM et al., 2008; LIMA et al., 2008; SAATH et al., 2012), que podem ter sido ocasionados devido ao maior tempo necessário para completar a secagem no processamento pós-colheita por preparo natural. Esse maior tempo de secagem também promoveu alterações no teor de acidez total titulável, pH e índice de coloração dos grãos naturais.

Na safra 2016/17 houve interação entre os sistemas de cultivo e o processamento pós-colheita ($p < 0,01$) para a CE e K LIX. O processamento por preparo natural resultou em maior CE que nos grãos cereja despulpado, independentemente de como os cafeeiros foram cultivados. No entanto, grãos de cafeeiros cultivados a pleno sol apresentaram maior CE somente quando foram processados por preparo natural (Tabela 13). Isso significa que o despulpamento dos grãos reduz uma possível maior CE causada pelo cultivo a pleno sol. Se o cafeeiro for sombreado, o processamento pós-colheita deixa de ser importante para este parâmetro da qualidade dos grãos. O processamento pós-colheita por preparo natural promoveu maiores valores de K LIX nos grãos despulpados, independentemente de como os cafeeiros foram cultivados (Tabela 14). Assim como a condutividade elétrica, a maior exsudação de íons potássio está relacionada à desestruturação das membranas dos grãos naturais.

Ao contrário do que ocorreu na safra 2015/16, quando os grãos do cultivo sombreado apresentaram maiores valores de condutividade elétrica, na safra 2016/17 ocorreu o contrário. Sabe-se que o sombreamento prolonga o período de maturação dos frutos, proporcionando um enchimento de grãos mais lento (VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; STRUIK, 2011), o que pode influenciar a estruturação das membranas. Na primeira safra, pelos cafeeiros estarem a sete meses sob esta condição de cultivo, e não haver atraso na maturação dos frutos, o que ocorreu na safra seguinte quando já estavam a 19 meses sob sombreamento. Entretanto, ainda não existem trabalhos relacionando o sombreamento com a estruturação de membranas dos grãos de café.

Tabela 13 - Desdobramento da interação do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre a CE dos grãos de café. Safra 2016/17.

| Sistema de Cultivo | Pós-Colheita | |
|--------------------|--------------|-------------------|
| | Natural | Cereja despulpado |
| Pleno Sol | 141,57 aA | 80,22 aB |
| Sombreado | 110,63 bA | 88,83 aB |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14 - Desdobramento da interação do sistema de cultivo e da pós-colheita sobre o K LIX dos grãos de café. Safra 2016/17.

| Sistema de Cultivo | Pós-Colheita | |
|--------------------|--------------|-------------------|
| | Natural | Cereja despolpado |
| Pleno Sol | 4,58 aA | 2,35 aB |
| Sombreado | 3,87 aA | 3,01 aB |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

3.0 Conclusão

Assim, nas condições experimentais em que foi realizado o trabalho, o processamento pós-colheita mostrou ter maior influência sobre alguns componentes de composição química e físico-química dos grãos crus que o sistema de cultivo.

O preparo natural causou maiores quantidades de íons potássio lixiviado e condutividade elétrica no exsudato dos grãos, possivelmente pelos danos às membranas durante a secagem.

Em relação ao ambiente de cultivo, as relações entre a sombra e os componentes químicos dos grãos ainda precisam ser melhor estudadas, com diferentes níveis de sombreamento, de acordo com a altitude do local de cultivo.

Referências bibliográficas

- Abrahão, S. A.; Pereira, R. G. F.; Duarte, S. M. da S.; Lima, A. R.; Alvarenga, D. J.; Ferreira, E. B. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.414-420, 2010.
- Abreu, G. F.; Pereira, C. C.; Malta, M. R.; Clemente, A. da C. S.; Coelho, L. F. S.; Rosa, S. D. V. F. da. Alterações na coloração de grãos de café em função das operações pós-colheita. **Coffee Science**, v.10, n.4, p.429-436, 2015.
- Afonso Júnior, P. C; Corrêa, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.6, p.1268-1276, 2003.
- Angélico, C. L.; Pimenta, C. J.; Chalfoun, S. M.; Chagas, S. J. de R.; Pereira, M. C.; Chalfoun, Y. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. **Coffee Science**, v.6, n.1, p.8-19, 2011.

AOAC - Association of official analytical chemists. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15.ed. Washington, 1990. 684p.

Avelino, J.; Barboza, B.; Araya, J. C.; Fonseca, C.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Cilas, C. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude *terroirs* of Costa Rica, Orosí and Santa María de Dota. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.1869-1876, 2005.

Baliza, D. P.; Santos, M. de O.; Alves, J. D.; Guimarães, R. J.; Cunha, R. L. da. Metabolismo da sacarose em cafeeiros submetidos a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v.9, n.4, p.445-455, 2014.

Borém, F. M. Processamento do café. In: **Pós-colheita do café**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2008. 631p.

Borém, F. M.; Coradi, P. C.; Saath, R.; Oliveira, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1609-1615, 2008.

Borém, F. M.; Ribeiro, F. C.; Figueiredo, L. P.; Giomo, G. S.; Fortunato, V. A.; Isquierdo, E. P. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. **Journal of Stored Products Research**, v.52, p. 1-6, 2013 a.

Borém, F. M.; Oliveira, P. D. de; Isquierdo, E. P.; Giomo, G. da S.; Saath, R.; Cardoso, R. A. Microscopia eletrônica de varredura de grãos de café submetidos a diferentes formas de processamento e secagem. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.227-237, 2013 b.

Bote, A. D.; Struik, P. C. Effects of shade on Growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, v.3, n.11, p.336-341, 2011.

Bote, A. D.; Vos, J. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica* L.) bean quality. **NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences**, v.83, p.39-46, 2017.

Brasil. Instrução Normativa nº8, 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**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 13 jun. 2003. Seção 1, p.22-29.

Camargo, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.7, p.831-839, 1985.

- Carvalho, V. D. de; Chagas, S.J. de R.; Chalfoun, S. M.; Botrel, N.; Juste Júnior, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café (I -Atividades de polifenoxidase e peroxidase, índice de coloração de acidez). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.3, p.449-454, 1994.
- Carvalho Júnior, C. de; Borém, F. M.; Pereira, R. G. F. A.; Silva, F. M. da. Influência de diferentes sistemas de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.5, p. 1089-1096, 2003.
- 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 polifenoxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio). **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p. 590-597, 2005.
- Clemente, A. da C. S.; Cirillo, M. A.; Malta, M. R.; Caixeta, F.; Pereira, C. C.; Rosa, S. D. V. F. da. Operações pós-colheita e qualidade físico-química e sensorial de cafés. **Coffee Science**, v.10, n.2, p.233-241, 2015 b.
- Clemente, J. M.; Martinez, H. E. P.; Alves, L. C.; Finger, F. L.; Cecon, P. R. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and beverage quality. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.37, n.3, p. 297-305, 2015 a.
- Coradi, P. C.; Borém, F. M.; Saath, R.; Marques, E. R. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. **Coffee Science**, v.2, n.1, p.38-47, 2007.
- Corrêa, P. C.; Afonso Júnior, P. C.; Pinto, F. A. C. Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processado por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. especial, n.5, p.22-27, 2002.
- DaMatta, F. M.; Ramalho, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.18, n.1, p.55-81, 2006.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, F. Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, 28, 350–356.
- Farah, A.; Monteiro, M. C.; Calado, V.; Franca, A. S.; Trugo, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v.98, n.2, p.373-380, 2006.

- Franca, A. S.; Mendonça, J. C. F.; Oliveira, S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT**, v.38, p.709-715, 2005.
- Geromel, C.; Ferreira, L. P.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Ribeyre, F.; Sholz, M. B. dos S.; Pereira, L. F. P.; Vaast, P.; Pot, D.; Leroy, T.; Filho, A. A.; Vieira, L. G. E.; Mazzafera, P.; Marraccini, P. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.569-579, 2008.
- ISO INTERNATIONAL STANDARD. **Green coffee**: determination of loss in mass at 105 °C: ISO 6673. Washington, 1983.
- Kleinwächter, M.; Selmar, D. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food Chemistry**, v.119, p.500-504, 2010.
- Knopp, S.; Bytof, G.; Selmar, D. Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. **Eur Food Res Technol**, v.223, p. 195-201, 2006.
- Lima, M. V; Vieira, H. D.; Martins, M. L. L.; Pereira, S. de M. de F. Preparo do café despulpado, cereja descascado e natural da região sudoeste da Bahia. **Revista Ceres**, v.55, n.2, p.124-130, 2008.
- Maldonado, I. R.; Carvalho, P. G. B.; Ferreira, N. A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS. **Embrapa Hortaliças**, Brasília. Comunicado Técnico 85, p.4, 2013.
- Malta, M. R.; Rosa, S. D. V. F. da; Lima, P. M. de; Fassio, L. de O.; Santos, J. B. dos. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, v.21, n.5, p.431-440, 2013.
- Matsumoto, S. N.; Viana, A. E. S. Arborização de cafezais na região Nordeste. In: MATSUMOTO, S. N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. p. 212.
- Morais, H.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C.; Kogushi, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p. 763-770, 2006.
- Muschler, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.85, p.131-139, 2001.

- Oliveira, P. D.; Borém, F. M.; Isquierdo, E. P.; Giomo, G. da S.; Lima, R. R. de; Cardoso, R. A. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.211-220, 2013.
- Pezzopane, J. R. M.; Pedro Jr., M. J.; Gallo, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.256-264, 2007.
- Pimenta, C. J. **Qualidade de Café**. Lavras: Editora UFLA, 2003. 304 p.
- Pimenta, C. J.; Chagas, S. J. de R.; Costa, L. Polifenoloxidase, lixiviação de potássio e qualidade de bebida do café colhido em quatro estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.2, p.171-177, 1997.
- Pinto, N. A. V. D.; Fernandes, S. M.; Pires, T. C.; Pereira, R. G. F. A.; Carvalho, V. D. de. Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.3, p.193-195, 2001.
- Prete, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. 1992. 125 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.
- Reinato, C. H. R.; Borém, F. M.; Silva, P. J. da; Oliveira, E. C. Influência da secagem, em diferentes tipos de terreiro, sobre a qualidade do café ao longo do armazenamento. **Coffee Science**, v.2, n.1, p.48-60, 2007.
- Saath, R.; Biaggioni, M. A. M.; Borém, F. M.; Broetto, F.; Fortunato, V. A. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica* L.) nos processos pós-colheita. **Revista Energia na Agricultura**, v.27, n.2, p.96-112, 2012.
- Scholz, M. B. dos S.; Silva, J. V. N. da; Figueiredo, V. R. G. de; Kitzberger, C. S. G. Atributos sensoriais e características físico-químicas de bebidas de cultivares de café do IAPAR. **Coffee Science**, v.8, n.1, p.6-16, 2013.
- Silva, P. A.; Rabelo, V. M.; Calixto, J. M. R.; Coelho, P. de O.; Gorki, I. R. de C. Quality assessment of coffee grown in Campos Gerais, Minas Gerais State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, v.36, n.4, p.739-744, 2014.
- Silva, P. A.; Oliveira, M. G. de; Coelho, P. de O.; Silva, J. A. C. da. Quality of coffee cultivated in Campos Gerais, Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Technology**, v.38, n.1, p.1-5, 2016.

Singleton, V. L. The total phenolic content of grapes berries during the maturation of several varieties. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.17, p.126-134, 1966.

Siqueira, H. H. de; Abreu, C. M. P. de. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.1, p.112-117, 2006.

Somporn, C.; Kamtuo, A.; Theerakulpisut, P.; Siriamornpun, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of Coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92:1956-1963, 2012.

Souza, A. J. de; Matsumoto, S. N.; Malta, M. R.; Guimarães, R. J. Qualidade do café arborizado e a pleno sol, em manejo pós-colheita no sudoeste da Bahia. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.109-120, 2013.

Taveira, J. H. da S.; Rosa, S. D. V. da; Borém, F. M.; Giomo, G. S.; Saath, R. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p.1511-1517, 2012.

Vaast, P.; Bertrand, B.; Perriot, J. J.; Guyot, B.; Génard, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, p. 197-204, 2006.

Worku, M.; Meulenaer, B. de; Duchateau, L.; Boeckx, P. Effect of altitude on biochemical composition and quality of green arabica coffee beans can be affected by shade and postharvest processing method. **Food Research International**, v.105, p.278-285, 2018.

Zaidan, U. R.; Corrêa, P. C.; Ferreira, W. P. M.; Cecon, P. R. Ambiente e variedades influenciam a qualidade de cafés das Matas de Minas. **Coffee Science**, v.12, n.2, p.240-247, 2017.

Capítulo 4: Qualidade sensorial de café natural e cereja despulpado cultivado a pleno sol e sob sombreamento

Resumo

O sombreamento e o processamento pós-colheita aplicado aos grãos podem influenciar a qualidade sensorial da bebida através de alterações na composição química e físico-química dos mesmos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do sombreamento e do processamento pós-colheita sobre a qualidade sensorial da bebida. Para isso, cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851 foram mantidos a pleno sol ou sombreados com malhas sombreadoras com bloqueio de 49,1% da radiação global incidente. Nas safras 2015/16 e 2016/17 foram processados, por preparo natural ou cereja despulpado, apenas frutos no estágio cereja. Foram utilizados somente grãos classificados como chato e de tamanho de peneiras 16 e acima. A análise sensorial foi realizada conforme metodologia proposta pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA). As amostras foram avaliadas por quatro provadores treinados e qualificados, em sistema duplo-cego. Em cada degustação foram avaliados os seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio e impressão global. A nota final da bebida foi calculada pelo somatório das notas de cada atributo. Os atributos sensoriais e a nota final foram avaliados por meio de estatística descritiva e análise de variância, respectivamente. Os resultados dos atributos sensoriais foram interpretados por meio da média e erro padrão. Para a nota final da bebida, os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, com dois sistemas de cultivo (pleno sol e sombreamento) nas parcelas e dois tipos de processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado) nas sub-parcelas. Nas duas safras, o nível de qualidade dos atributos sensoriais variou de muito bom (7,00 a 7,75 pontos) até excepcional (>9,00 pontos) para todos os tratamentos. Houve influência apenas do processamento pós-colheita sobre a nota final da bebida. A nota final da bebida de grãos naturais foi maior que dos cereja despulpado. De acordo com a metodologia utilizada nas duas safras, os cafés de todos os tratamentos foram classificados como especiais. Nas condições experimentais em foi realizado o trabalho, o processamento pós-colheita mostrou ter maior influência sobre a qualidade que o sistema de cultivo e o sombreamento não influencia a qualidade sensorial potencial do café.

Palavra-chave: cafés especiais, café natural, cereja despulpado, *Coffea arabica* L.,

Abstract

Coffee shading and post-harvest processing applied to grains may influence the sensory quality of the beverage through changes in the chemical and physicochemical composition of the beans. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of shading and post-harvest processing on the sensorial quality of the beverage. For this, coffee trees of the species *Coffea arabica* L., cv. Oeiras MG 6851 were kept in full sun or shaded with shading meshes with blocking of 49.1% of the incident global radiation. In the 2015/16 and 2016/17 harvests, only cherry fruits stadium was processed by natural method and pulped cherry. Only grains classified as flat and sieve size 16 and above were used. The sensorial analysis was performed according to the methodology proposed by the Specialty Coffee American Association (SCAA). Samples were evaluated by four trained and qualified testers in a double-blind system. In each tasting the following attributes were evaluated: fragrance / aroma, uniformity, absence of defects,

sweetness, taste, acidity, body, balance and overall impression. The final score was calculated by the sum of the scores for each attribute. The sensorial attributes and the final score were evaluated through descriptive statistics and analysis of variance, respectively. The results of the sensorial attributes were interpreted by mean and standard error. For the final note of the drink, the treatments were arranged in subdivided plots, with two cultivation systems (full sun and shading) in the plots and two types of post-harvest processing (natural coffee and pulped cherry) in subplots. The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the F test at 5% probability. In the two harvests, the quality level of the sensorial attributes ranged from very good (7.00 to 7.75 points) to exceptional (> 9.00 points) for all treatments. There was only influence of the post-harvest processing on the final note of the beverage. The final grade of the natural coffee beverage was higher than that of the pulped cherry. According to the methodology used, in the two harvests, the coffees of all treatments were classified as special. In the experimental conditions under which the work was carried out, the post-harvest processing showed to have a greater influence on the quality than the cultivation system and the shading did not influence the potential sensorial quality of the coffee.

Key words: specialty coffees, natural coffee, pulped cherry, *Coffea arabica* L.

1.0 Introdução

Minas Gerais é o maior produtor nacional de café, sendo responsável por mais de 50% da produção total do país (CONAB, 2017). Por sua grande extensão territorial e variação ambiental, o estado produz cafés de qualidade com grande diversidade de sabores e aromas. Estas diferenças estão relacionadas com as características peculiares de cada município, principalmente às variações de clima, altitude, sistemas de produção e processamento pós-colheita (ALVES et al., 2011). A região das Matas de Minas, composta por 63 municípios, 36 mil produtores, sendo 80% destes com menos de 20 ha, apresenta grande potencial para a produção de cafés de qualidade (REGIÃO DAS MATAS DE MINAS, 2017). Nesta região, a altitude é um dos fatores que mais interfere na qualidade dos cafés (SILVEIRA et al., 2016), no entanto, tanto o ambiente, quanto a variedade e a face de exposição solar em que a lavoura está inserida atuam em conjunto para formar as características da bebida produzida na região (SILVEIRA et al., 2016; ZAIDAN et al., 2017).

O cafeeiro é afetado nas suas fases fenológicas pelas condições ambientais, principalmente a distribuição pluviométrica e temperatura do ar, que interferem não apenas na fenologia, mas também na produtividade e qualidade da bebida. Desta forma, frente às mudanças climáticas, a região das Matas de Minas poderá apresentar elevação da temperatura do ar e menor disponibilidade hídrica aos cafeeiros. Em condições climaticamente normais, a Mogiana Paulista apresenta aproximadamente 50% da área com produção de café classificado

como bebida mole. O aumento da temperatura pode reduzir as áreas propícias a gerar cafés de melhor qualidade sensorial (SILVA et al., 2009).

Com o aumento da temperatura, não só a qualidade da bebida ficaria comprometida, mas também a área disponível para cultivo de café arábica, uma vez que projeções indicam redução de cerca de 20 a 60% das áreas atualmente adequadas para o cultivo do café no Sudeste do Brasil (TAVARES et al., 2018). Desta forma, o sombreamento dos cafeeiros apresenta-se como uma alternativa frente às mudanças climáticas, por reduzir as temperaturas máximas (CAMPANHA et al., 2004; MOREIRA et al., 2018). Em ambientes de menores altitudes, o sombreamento tem se mostrado benéfico à cultura do café, uma vez que reduz a intensidade luminosa incidente e a temperatura máxima do ar na lavoura, promovendo a formação de um microclima mais ameno (MUSCHLER, 2001; SOMPORN et al., 2012). Nestas condições tem-se um prolongamento do período de maturação dos frutos com a consequente formação de grãos maiores e mais pesados (MORAIS et al., 2006; VAAST et al., 2006; GEROMEL et al., 2008; BOTE; STRUIK, 2011), o que poderia influenciar de forma positiva a qualidade física, química e sensorial do café.

Além do ambiente de cultivo, o tipo de processamento pós-colheita aplicado aos grãos influencia a qualidade sensorial da bebida. De forma geral, o processamento por preparo natural produz cafés de bebida mais encorpadas e doces, em comparação aos cereja despulpados, os quais possuem acidez mais desejável (SANTOS et al., 2009) e em concursos de qualidade, os cafés naturais têm alcançado notas tão boas quanto os despulpados. Apesar de o despulpamento encurtar o período de secagem no terreiro, e assim eliminar possíveis fontes de fermentações indesejáveis, como a casca e mucilagem, os cafés naturais se destacam na maioria dos atributos sensoriais avaliados em relação ao café desmucilado (RIBEIRO et al., 2017).

A *Specialty Coffee Association of America* (SCAA) propõe a metodologia que avalia a bebida de forma qualitativa e quantitativa, através dos atributos sensoriais de fragrância (proveniente do pó seco) e aroma (depois de hidratado e pós-quebra da crosta), uniformidade (cinco xícaras, cada qual correspondendo estatisticamente a 20% da amostra), ausência de defeitos (fermentações indesejáveis, amargor indesejável), doçura, sabor, acidez (tipo da acidez, intensidade e qualidade), corpo (intensidade e qualidade), finalização (persistência e qualidade residual), equilíbrio (interação entre sabor, corpo e acidez) e impressão global da bebida (SCAA, 2009).

O cultivar Oeiras MG 6851 tem grande importância para a cafeicultura da Zona da Mata mineira, por ser adaptada à região e ser resistente à ferrugem do cafeeiro (PEREIRA et al., 2000). Embora sejam escassos os trabalhos que relatam o potencial da qualidade sensorial dos cafés deste cultivar, as bebidas provenientes de grãos naturais, receberam por duas safras seguidas, notas 80 e 82 (CARVALHO et al., 2011). Em dois ambientes de Minas Gerais, bebidas de grãos cereja descascado obtiveram notas de 84,67 e 82,67 em Lavras e Patrocínio, respectivamente (FASSIO et al., 2013).

Diante do exposto nota-se que a qualidade sensorial da bebida do café pode ser influenciada por diversos fatores, sendo os mais notáveis aqueles relacionados com o ambiente, o processamento e a constituição genética das plantas.

Objetivo

Avaliar os efeitos do sombreamento e do processamento pós-colheita sobre a qualidade sensorial da bebida do café.

2.0 Resultados e Discussão

Nas duas safras, a nota dos atributos sensoriais variou de muito bom (7,00 a 7,75 pontos) até excepcional (>9,00 pontos) para todos os tratamentos.

Na safra 2015/16 todos os tratamentos receberam nota máxima para os atributos uniformidade e ausência de defeitos, o que os classifica com nível de qualidade excepcional (SCAA, 2009). O atributo uniformidade refere-se à consistência de sabores das cinco xícaras avaliadas para cada tratamento. Para ser chamado de uniforme, o café deve apresentar os mesmos sabores nas diversas xícaras. O atributo ausência de defeitos está relacionado com fermentações indesejáveis e amargor indesejável (SCAA, 2009). As elevadas notas desses atributos podem estar relacionadas com qualidade potencial dos grãos, uma vez que foram selecionados e processados apenas frutos no estágio de maturação cereja e direcionados para a análise sensorial os grãos de formato chato e de tamanho de peneiras 16 e acima, o que garante a formação de lotes mais homogêneos com grãos graúdos e livres de defeitos.

As demais notas variaram de $7,50 \pm 0,20$ para o atributo sabor do café de cultivo sombreado e despulpado; até $9,50 \pm 0,50$ para o atributo doçura dos dois sistemas de cultivo e processados por preparo natural (Tabela 4). Essas notas indicam nível de qualidade entre muito bom e excepcional, respectivamente (SCAA, 2009).

Na safra 2016/17, apenas os grãos do cultivo a pleno sol e despulpado não apresentaram nota máxima para o atributo uniformidade. Ainda assim, a nota obtida ($9,50 \pm 0,50$) classifica esse atributo com o nível de qualidade excepcional (SCAA, 2009). Nesta safra, todos os tratamentos receberam nota máxima para os atributos ausência de defeitos e doçura (Tabela 4). As demais notas variaram de $7,50 \pm 0,20$ para o atributo equilíbrio dos grãos de cultivo a pleno sol e processados por preparo natural até $8,50 \pm 0,28$ para o atributo acidez dos cafés de cultivo sombreado e com o mesmo processamento pós-colheita. Essas notas indicam nível de qualidade entre muito bom e excelente (SCAA, 2009).

Os grãos naturais produzem cafés de bebidas mais encorpadas e doces, em comparação aos despolpados, os quais possuem acidez mais desejável (SANTOS et al., 2009). Esse comportamento foi observado, principalmente, na safra 2015/16, quando os cafés oriundos de grãos naturais apresentaram maiores notas no atributo corpo. Os atributos doçura e acidez dos cafés naturais, dos dois sistemas de cultivo receberam notas mais elevadas em comparação com cereja despulpado. Estes resultados coincidem com a maior acidez total titulável, menor pH e teores mais elevados de açúcares solúveis totais e redutores encontrados nos grãos crus (Dados apresentados no Capítulo 3), demonstrando que a composição química dos grãos pode influenciar à percepção sensorial da qualidade da bebida.

Não houve influência do sistema de cultivo ou da interação sistema x pós-colheita ($p \geq 0,05$) sobre a nota final da bebida, nas duas safras avaliadas (Tabela 5). As bebidas tanto do cultivo a pleno sol quanto do sombreado, obtiveram notas acima de 80 pontos, o que as classifica como cafés especiais (SCAA, 2009).

A ausência de efeitos do sistema de cultivo sobre a nota final da bebida pode ser explicada em função do nível de sombreamento (49,1%) e da altitude do local (675 m) onde foi instalado o experimento. No presente trabalho, o sombreamento utilizado reduziu a temperatura máxima do ar em apenas 1 °C (Figura 1), o que provavelmente foi insuficiente para alterar o ambiente e, conseqüentemente, favorecer o acúmulo de compostos químicos responsáveis por uma melhor qualidade de bebida. Assim como foi observado para a composição química dos grãos crus através do teor de açúcares e compostos fenólicos totais (Dados apresentados no Capítulo 3), em ambientes nessa faixa de altitude (675 m), o nível de sombreamento deve permitir a formação de um microclima mais ameno, com prolongamento do período de maturação dos frutos e, conseqüentemente, maior acúmulo de compostos químicos nos grãos, o que melhoraria a qualidade sensorial da bebida. No Brasil ainda são escassos os trabalhos que comparam a

qualidade sensorial da bebida de cultivos sombreados e a pleno sol conduzidos sob condições experimentais controladas.

Tabela 4 – Notas dos atributos sensoriais da bebida de café produzidos a pleno sol ou sombreados e processados por preparo natural ou cereja despulpado. Média \pm erro padrão da média.

| Safra 2015/16 | | | | |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Atributos Sensoriais | Pleno sol/Natural | Pleno sol/Despulpado | Sombreado/Natural | Sombreado/Despulpado |
| Fragrância/Aroma | 7,70 \pm 0,12 | 7,72 \pm 0,13 | 7,87 \pm 0,12 | 7,60 \pm 0,22 |
| Uniformidade | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 |
| Ausência de defeitos | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 |
| Doçura | 9,50 \pm 0,50 | 9,37 \pm 0,62 | 9,50 \pm 0,50 | 8,75 \pm 0,75 |
| Sabor | 7,53 \pm 0,19 | 7,67 \pm 0,11 | 7,87 \pm 0,12 | 7,50 \pm 0,20 |
| Acidez | 7,47 \pm 0,18 | 7,40 \pm 0,24 | 7,87 \pm 0,12 | 7,52 \pm 0,20 |
| Corpo | 8,01 \pm 0,17 | 7,75 \pm 0,14 | 8,00 \pm 0 | 7,62 \pm 0,23 |
| Finalização | 7,70 \pm 0,12 | 7,65 \pm 0,23 | 8,00 \pm 0,20 | 7,52 \pm 0,20 |
| Equilíbrio | 7,70 \pm 0,12 | 7,65 \pm 0,23 | 7,87 \pm 0,12 | 7,65 \pm 0,23 |
| Impressão global | 7,82 \pm 0,11 | 7,57 \pm 0,21 | 8,00 \pm 0 | 7,67 \pm 0,23 |
| Safra 2016/17 | | | | |
| Atributos | Pleno sol/Natural | Pleno sol/Despulpado | Sombreado/Natural | Sombreado/Despulpado |
| Fragrância/Aroma | 8,06 \pm 0,15 | 7,93 \pm 0,06 | 8,00 \pm 0 | 7,75 \pm 0,25 |
| Uniformidade | 10 \pm 0 | 9,5 \pm 0,5 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 |
| Ausência de defeitos | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 |
| Doçura | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 | 10 \pm 0 |
| Sabor | 8,00 \pm 0,35 | 7,75 \pm 0,14 | 8,25 \pm 0,14 | 7,87 \pm 0,12 |
| Acidez | 7,75 \pm 0,14 | 7,87 \pm 0,12 | 8,50 \pm 0,28 | 7,87 \pm 0,12 |
| Corpo | 7,87 \pm 0,12 | 7,87 \pm 0,12 | 8,00 \pm 0 | 7,87 \pm 0,12 |
| Finalização | 7,75 \pm 0,14 | 7,87 \pm 0,12 | 7,62 \pm 0,23 | 7,62 \pm 0,12 |
| Equilíbrio | 7,50 \pm 0,20 | 7,62 \pm 0,12 | 7,87 \pm 0,12 | 7,62 \pm 0,12 |
| Impressão global | 7,75 \pm 0,25 | 7,75 \pm 0,25 | 7,87 \pm 0,23 | 7,75 \pm 0,25 |

Tabela 5 – Nota final da bebida de cafés cultivados a pleno sol e sombreado, nas safras 2015/16 e 2016/17.

| Nota Final | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Sistema de cultivo | Safra 2015/16 ^{ns} | Safra 2016/17 ^{ns} |
| Pleno sol | 83,12 | 83,18 |
| Sombreado | 83,55 | 85,25 |
| CV (%) | 0,51 | 2,85 |

ns: não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$).

Em ambiente de baixa altitude (700 m), para a variedade Catimor, o intenso sombreamento de mais de 80%, promovido por *Erythrina poeppigiana*, influenciou negativamente o aroma e positivamente o corpo e acidez da bebida de grãos despulpados

(MUSCHLER, 2001). Estes resultados indicam que os atributos sensoriais, que compõem a nota final da bebida, provavelmente respondem de forma diferente ao sombreamento, uma vez que podem ser afetados de forma negativa ou positiva. Assim como a melhora na qualidade dos atributos corpo e a acidez da bebida podem ser decorrentes de fermentações desejáveis, que poderiam ser favorecidas em ambientes com maior umidade, como é o caso de lavouras sombreadas. Em locais de altitudes elevadas, como a 1518 m, no Sul da Colômbia, o sombreamento de 33% reduz drasticamente a temperatura do ar, ultrapassando o mínimo necessário para o cafeeiro e com isso prejudicando a qualidade sensorial de sua bebida (BOSELDMANN et al., 2009). Na Costa Rica, em ambiente com altitude de 1180 m, os cafeeiros do cultivar Costa Rica 95 foram cultivados com 45% de sombreamento artificial e os grãos despulpados, apresentaram bebida com maior acidez e menor corpo em comparação com a bebida dos cafeeiros a pleno sol, por duas safras seguidas (VAAST et al., 2006). Nesse estudo houve redução de 4 °C na temperatura do ar no cultivo sombreado, prolongando o período de maturação dos frutos e levando a maior acúmulo de cafeína e ácidos graxos e menor de ácidos clorogênicos, sacarose e trigonelina nos grãos. Em diferentes condições, todos esses compostos químicos foram correlacionados positivamente com a qualidade sensorial da bebida (FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006; BORÉM et al., 2016; FASSIO et al., 2017), indicando que alterações na composição química dos grãos podem influenciar a qualidade sensorial da bebida.

Em ambiente com altitude ainda mais elevada, como na Etiópia a 1820 m e com 46% de sombreamento, os autores não encontraram diferenças entre a qualidade sensorial do café cultivado a pleno sol e sombreado, entretanto foram avaliados apenas os atributos sensoriais acidez, corpo e sabor (BOTE; STRUIK, 2011), os quais são insuficientes para avaliar a qualidade global da bebida. Grãos de cafeeiros cultivados mais próximos às árvores proporcionaram bebida de melhor qualidade (Mole) em comparação com aqueles de cafeeiros cultivados mais distantes (Apenas mole), numa condição que se aproxima do cultivo a pleno sol (SILVA NETO et al., 2018). Nesse trabalho desenvolvido no Brasil, a 850 m de altitude, os cafeeiros já estavam sombreados por seis anos, entretanto os autores não mencionaram o nível de sombreamento fornecido pelas árvores, o que dificulta maiores comparações.

A nota final dos cafés naturais e cereja despulpado, nas duas safras, classificam os cafés como bebida especial. Essas notas podem ser explicadas em função da forma criteriosa com que foi feito o processamento pós-colheita desde a separação hidráulica dos frutos após a colheita, até a secagem em finas camadas e com, pelo menos, dez revolvimentos diários dos

grãos (Tabela 6). Contudo, houve influência do processamento pós-colheita ($p < 0,05$) sobre a nota final da bebida, nas duas safras avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Influência da pós-colheita sobre a nota final da bebida de café. Safras 2015/16 e 2016/17.

| Pós-colheita | Nota Final | |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| | Safra 2015/16 * | Safra 2016/17 * |
| Natural | 84,22 | 85,40 |
| Cereja despulpado | 82,45 | 83,03 |
| CV (%) | 1,34 | 2,24 |

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Cafés naturais apresentaram notas finais maiores que os cereja despulpado, em ambos os anos. Estes resultados estão alinhados com os resultados de qualidade potencial dos grãos crus, onde o processamento pós-colheita por preparo natural promoveu aumentos nos teores de açúcares solúveis totais, redutores e acidez total titulável (Dados apresentados no Capítulo 3), o que poderia resultar em bebidas com qualidade superior.

Cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho IAC-99 produziram bebida de qualidade similar, quer por grãos naturais ou despulpados e secos em terreiro. Neste trabalho os cafés naturais também demoraram mais tempo para completar a secagem, entretanto os autores não relatam diferenças quanto ao teor da acidez total titulável dos grãos crus (SAATH et al., 2012), o que poderia justificar a qualidade similar da bebida dos diferentes processamentos. Cafeeiros cultivar Rubi também não apresentaram diferença entre a qualidade de bebida de cafés naturais e despulpados (OLIVEIRA et al., 2013), ainda que os grãos naturais tenham apresentado maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de íons potássio, que são indicativos de danos nas membranas e, conseqüentemente, de menor qualidade. No presente trabalho, esses grãos também apresentaram maiores teores de condutividade elétrica e lixiviação de íons potássio (Dados apresentados no Capítulo 3), sem afetar negativamente a qualidade sensorial da bebida.

3.0 Conclusão

Nas condições em que foi realizado o experimento, o sombreamento dos cafeeiros não alterou a qualidade sensorial potencial da bebida do café.

Cafeeiros cultivados a pleno sol e sombreados podem originar bebidas de alta qualidade, desde que o processamento pós-colheita aplicado seja feito de forma correta.

O processamento por preparo natural quando feito de forma criteriosa pode produzir cafés de maior qualidade que os grãos cereja despulpado.

Referências bibliográficas

Alves, H. M. R.; Volpato, M. M. L.; Vieira, T. G. C.; Borém, F. M.; Barbosa, J. N. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.32, n.261, p.18-29, 2011.

Borém, F. M.; Figueiredo, L. P.; Ribeiro, F. C.; Taveira, J. H. S.; Giomo, G. S.; Salva, T. J. G. The relationship between organic acids, sucrose and the quality of specialty coffees. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.8, p.709-717, 2016.

Bosselmann, A. S.; Dons, K.; Oberthur, T.; Olsen, C.; Ræbild, A.; Usma, H. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.129, p. 253-260, 2009.

Bote, A. D.; Struik, P.; C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, v.3, n.11, p.336-341, 2011.

Campanha, M. M.; Santos, R. H. S.; Freitas, G. B. de; Martinez, H. E. P.; Garcia, S. L. R.; Finger, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, 63: 75-82, 2004.

Carvalho, C.H.S.; Matiello, J.B.; Almeida, S.R.; Ferreira, R.A.; Padilha, L.; Ferreira, I.B.; Galdino, P. Qualidade da bebida de cultivares de café com resistência à ferrugem do cafeeiro. In VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011, Araxá - MG. **Resumos expandidos...** Embrapa Café, Brasília.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Safra 2017, Terceiro Levantamento**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v.4, n.3, p.1-107, 2017.

Farah, A.; Monteiro, M. C.; Calado, V.; Franca, A. S.; Trugo, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v.98, n.2, p.373-380, 2006.

Fassio, L. O.; Malta, M. R.; Carvalho, G. R.; Pimenta, C. J.; Lima, P. M. de; Chagas, R. M. R. Avaliação da qualidade sensorial e fisiológica de cafés (*Coffea arabica* L.) resistentes e suscetíveis à ferrugem cultivados em dois ambientes de Minas Gerais. In: VIII Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, Salvador, BA, **Resumos expandidos...**Embrapa Café, Brasília. 2013.

Fassio, L. O.; Malta, M. R.; Liska, G. R.; Alvarenga, S. T.; Souza, M. M. M. de; Farias, T. R. T.; Pereira, R. G. F. A. Sensory profile and chemical composition of specialty coffees from Matas de Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v.9, n.9, p.78-93, 2017.

Franca, A. S.; Mendonça, J. C. F.; Oliveira, S. D. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. **LWT**, v.38, p.709-715, 2005.

Geromel, C.; Ferreira, L. P.; Davrieux, F.; Guyot, B.; Ribeyre, F.; Sholz, M. B. dos S.; Pereira, L. F. P.; Vaast, P.; Pot, D.; Leroy, T.; Filho, A. A.; Vieira, L. G. E.; Mazzafera, P.; Marraccini, P. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, p.569-579, 2008.

ISO INTERNATIONAL STANDARD. **Green coffee:** determination of loss in mass at 105 °C: ISO 6673. Washington, 1983.

Morais, H.; Caramori, P. H.; Ribeiro, A. M. de A.; Gomes, J. C.; Koguish, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p. 763-770, 2006.

Moreira, S. L. S.; Pires, C. V.; Marcatti, G. E.; Santos, R. H. S.; Imbuzeiro, H. M. A.; Fernandes, R. B. A. Intercropping of coffee with the palm tree, *macauba*, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256-257, p. 379-390, 2018.

Muschler, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.85, p.131-139, 2001.

Oliveira, P. D.; Borém, F. M.; Isquierdo, E. P.; Giomo, G. da S.; Lima, R. R. de; Cardoso, R. A. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.211-220, 2013.

Pereira, A. A.; Zambolim, L.; Chaves, G. M.; Sakiyama, N. S. Cultivar de café resistente à ferrugem: Oeiras – MG 6851. **Revista Ceres**, v.47, n.269, p.121-124, 2000.

Região das Matas de Minas. Disponível em: <http://www.matasdeminas.org.br/>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

Ribeiro, B. B.; Nunes, C. A.; Souza, A. J. de J.; Montanari, F. F.; Silva, V. A. da.; Madeira, R. A. V.; Piza, C. de. Perfil sensorial de cultivares de café processados por via seca e via úmida após armazenamento. **Coffee Science**, v.12, n.2, p.148-155, 2017.

Saath, R.; Biaggioni, M. A. M.; Borém, F. M.; Broetto, F.; Fortunato, V. A. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica* L.) nos processos pós-colheita. **Revista Energia na Agricultura**, v.27, n.2, p.96-112, 2012.

Santos, M.A.; Chalfoun, S.M.; Pimenta, C.J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição físico-química do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.1, p.213-218, 2009.

SCAA – Specialty Coffee Association of America. 2009. Metodologia SCAA de avaliação de cafés especiais. GUIA RÁPIDO – GREEN COFFEE. 7 p. Disponível em: <http://www.scaa.org>. Acesso em: 16 janeiro 2017.

Silva, A.V.L.; Camargo, M.B.P.; Moraes, J.F.L.; Carvalho, J.P. Clima e qualidade natural de bebida do café arábica na região Mogiana do Estado de São Paulo. In: VI Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, Vitória, ES, **Resumos expandidos...**Embrapa Café, Brasília. 2009.

Silva Neto, F. J. da; Morinigo, K. P. G.; Guimarães, N. da F.; Gallo, A. de S.; Souza, M. D. B. de; Stolf, R.; Fontanetti, A. Shade trees spatial distribution and its effect on grains and beverage quality of shaded coffee trees. **Journal of Food Quality**, v. 2018, p.1-8, 2018.

Silveira, A. S.; Pinheiro, A. C. T.; Ferreira, W. P. M.; Silva, L. J.; Rufino, J. L. S.; Sakiyama, N. S. Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. **Revista Ceres**, v.63, n.4, p.436-443, 2016.

Somporn, C.; Kamtuo, A.; Theerakulpisut, P.; Siriamornpun, S. Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of Coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 92:1956-1963, 2012.

Tavares, P. da S.; Giarolla, A. Chou Chan, S.; Silva, A. J. de P.; Lyra, A. de A. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Reg Environ Change**, v.18, p.873-883, 2018.

Vaast, P.; Bertrand, B.; Perriot, J. J.; Guyot, B.; Génard, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, p. 197-204, 2006.

Zaidan, U. R.; Corrêa, P. C.; Ferreira, W. P. M.; Cecon, P. R. Ambiente e variedades influenciam a qualidade de cafés das Matas de Minas. **Coffee Science**, v.12, n.2, p.240-247, 2017.

DISCUSSÃO GERAL

Nas condições experimentais em que foi realizado o trabalho, o sombreamento promoveu a redução de quase metade da radiação global incidente sobre os cafeeiros e, também, a redução da amplitude térmica dentro da lavoura. Esse microclima formado afetou o desenvolvimento reprodutivo e a maturação dos frutos apenas na segunda safra avaliada, quando os cafeeiros estavam há vinte meses sombreados. Tal resultado indica a necessidade de estudos como este por um maior período de tempo, com o sombreamento das plantas desde as fases iniciais do desenvolvimento floral até a colheita dos frutos.

Nas duas safras, nos primeiros meses de avaliação, houve um número de frutos mais elevado no cultivo sombreado em comparação ao pleno sol, provavelmente devido a um maior pegamento da florada. O que não era esperado nesse sistema de cultivo, de acordo com relatos da literatura. Entretanto, por conta dessa elevada carga houve maior abscisão de frutos no cultivo sombreado em comparação ao pleno sol.

Os grãos do cultivo sombreado foram maiores e mais pesados, além de apresentarem maior rendimento, em comparação com os grãos do cultivo a pleno sol. Além disso, não houve influência do sombreamento sobre a produção nas primeiras safras após a recepa dos cafeeiros. Esses resultados são interessantes, uma vez que existem hipóteses de que o sombreamento produza grãos maiores, porém com baixa produção. Entretanto, devemos levar em consideração que são resultados de apenas duas safras após a recepa dos cafeeiros. Em outro estudo realizado na mesma região, durante seis anos, os efeitos do sombreamento sobre a produção apareceram após três anos, sendo mais intensos após o início do período de altas produtividades. Esses resultados reforçam a necessidade de se manter as avaliações deste sistema de cultivo por mais tempo.

Em relação à qualidade física dos grãos, o sistema de cultivo a pleno sol e sombreado se equivalem em termos de percentual de grãos defeituosos. Na primeira safra o percentual de grãos brocados foi baixíssimo, nos dois sistemas de cultivo. O aumento observado na safra seguinte foi causado possivelmente devido à manutenção de frutos secos nas plantas, decorrentes de uma colheita malfeita em cafezais próximos. Tais resultados indicam que mesmo com um microclima mais ameno formado pelo sombreamento, o aumento no número de grãos brocados pode estar relacionado mais com o manejo da lavoura após a colheita do café, do que com o sistema de cultivo.

O processamento pós-colheita mostrou ter maior influência sobre a composição química, físico-química e a qualidade sensorial da bebida, que o sistema de cultivo. Em altitudes menores (como no presente estudo), o sombreamento deveria reduzir a temperatura ambiente a ponto de alterar o metabolismo de compostos químicos como os açúcares e fenóis totais, porém como as temperaturas foram muito altas, nos dois sistemas de cultivo, não houve efeito do sombreamento.

De modo geral, o sistema de cultivo promoveu diferenças apenas quanto o teor de acidez nos grãos, enquanto o preparo natural aumentou o teor desses compostos e dos açúcares, em comparação com os grãos despulpados. Com isso, os cafés dos dois sistemas de cultivo e processados por preparo natural receberam notas mais elevadas em comparação com os grãos despulpados. A composição química e físico-química dos grãos avaliadas nesse trabalho podem ser consideradas características acessórias, que servem para identificar cafés muito ruins dos muito bons. Para o presente trabalho as diferenças não foram importantes, mesmo que sejam significantes, pois a qualidade dos cafés foi alta, uma vez que foram processados os frutos no estágio cereja e com controle na pós-colheita.

Em pesquisas futuras é interessante que se acompanhe o florescimento, pegamento dos frutos, desde a primeira florada das plantas sombreadas e a pleno sol, e, também, as doenças que influenciam o amadurecimento dos frutos, como a cercosporiose. Em relação à composição química, o fracionamento dos açúcares presentes nos grãos crus também é importante ser determinado, uma vez que ainda não se tem um consenso em relação os efeitos do sombreamento sobre esses compostos.

ANEXOS

Capítulo 1 – Desenvolvimento reprodutivo e produção do cafeeiro arábica cultivado a pleno sol e sob sombreamento

Tabela 1 – Resumo da análise de variância da produção de café fresco ($t\ ha^{-1}$) em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e das safras (2015/16 e 2016/17).

| Fonte de variação | GL | Produção total ($t\ ha^{-1}$) |
|------------------------------|----|---------------------------------|
| Cultivo – C | 1 | 0,0529 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | |
| <hr/> | | |
| Parcelas | 9 | |
| Safras – S | 1 | 28,1777 ^{**} |
| Int. C x S | 1 | 4,5183 ^{ns} |
| Resíduo - S | 8 | |
| <hr/> | | |
| Total | 19 | |
| <hr/> | | |
| CV% - C | | 30,71 |
| CV% - S | | 22,76 |
| <hr/> | | |
| Normalidade Shapiro Wilk (W) | | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{**}Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância da produtividade do café beneficiado (sacas ha^{-1}) em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e das safras (2015/16 e 2016/17).

| Fonte de variação | GL | Café beneficiado (sacas ha^{-1}) |
|------------------------------|----|-------------------------------------|
| Cultivo – C | 1 | 0,0530 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | |
| <hr/> | | |
| Parcelas | 9 | |
| Safras – S | 1 | 28,1854 ^{**} |
| Int. C x S | 1 | 4,5206 ^{ns} |
| Resíduo - S | 8 | |
| <hr/> | | |
| Total | 19 | |
| <hr/> | | |
| CV% - C | | 30,72 |
| CV% - S | | 22,76 |
| <hr/> | | |
| Normalidade Shapiro Wilk (W) | | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Capítulo 3 – Composição química e físico-química do café grão cru cultivado sob sombreamento e submetido a diferentes processamentos pós-colheita

Tabela 3 – Resumo da análise de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR) nos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safra 2015/16.

| Fonte de Variação | GL | AST | AR | ANR |
|------------------------------|----|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Cultivo (C) | 1 | 4,4101 ^{ns} | 5,0047 ^{ns} | 2,6180 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | | | |
| Parcelas | 9 | | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 13,8056 ^{**} | 19,2752 ^{**} | 2,9517 ^{ns} |
| Int. C x PC | 1 | 3,2325 ^{ns} | 2,2492 ^{ns} | 4,0219 ^{ns} |
| Resíduo – PC | 8 | | | |
| Total | 19 | | | |
| CV% – C | | 15,94 | 32,22 | 17,98 |
| CV% - PC | | 8,40 | 31,63 | 11,06 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{**} Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR) dos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safra 2016/17.

| Fonte de Variação | GL | AST | AR | ANR |
|------------------------------|----|----------------------|----------------------|----------------------|
| Cultivo (C) | 1 | 1,7185 ^{ns} | 2,6581 ^{ns} | 2,1714 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | | | |
| Parcelas | 9 | | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 1,6839 ^{ns} | 6,4615 [*] | 1,3995 ^{ns} |
| Int. C x PC | 1 | 0,7666 ^{ns} | 3,9372 ^{ns} | 0,6078 ^{ns} |
| Resíduo – PC | 8 | | | |
| Total | 19 | | | |
| CV – C | | 22,81 | 28,57 | 24,18 |
| CV - PC | | 26,93 | 25,56 | 27,64 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{**} Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância da acidez total titulável (ATT), pH e índice de coloração (IC) dos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safra 2015/16.

| Fonte de Variação | GL | ATT | pH | IC |
|------------------------------|----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cultivo (C) | 1 | 2,2737 ^{ns} | 7,8271 [*] | 3,6068 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | | | |
| Parcelas | 9 | | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 39,2330 ^{**} | 15,2437 ^{**} | 30,6300 ^{**} |
| Int. C x PC | 1 | 1,5796 ^{ns} | 3,2842 ^{ns} | 0,0009 [*] |
| Resíduo – PC | 8 | | | |
| Total | 19 | | | |
| CV% - C | | 11,06 | 1,32 | 23,21 |
| CV% - PC | | 6,65 | 1,48 | 24,47 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. ^{**} Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância da acidez total titulável (ATT), pH e índice de coloração (IC) dos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safra 2016/17.

| Fonte de Variação | GL | ATT | pH | IC |
|-----------------------------|----|----------------------|----------------------|------------------------|
| Cultivo (C) | 1 | 3,3763 ^{ns} | 0,3510 ^{ns} | 6,2804 [*] |
| Resíduo – C | 8 | | | |
| Parcelas | 9 | | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 8,4285 [*] | 2,7214 ^{ns} | 132,1993 ^{**} |
| Int. C x PC | 1 | 0,3532 ^{ns} | 0,7779 ^{ns} | 0,9795 ^{ns} |
| Resíduo – PC | 8 | | | |
| Total | 19 | | | |
| CV% – C | | 10,33 | 0,97 | 15,82 |
| CV % - PC | | 13,57 | 1,76 | 12,12 |
| Normalidade Shapiro-Wilk(W) | | Sim | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. ^{**} Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância do teor de fenóis totais (FT) dos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safras 2015/16 e 2016/17.

| Fonte de variação | GL | FT | |
|------------------------------|----|----------------------|----------------------|
| | | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Cultivo (C) | 1 | 1,9826 ^{ns} | 0,5863 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | | |
| Parcelas | 9 | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 0,1093 ^{ns} | 2,2990 ^{ns} |
| Int. C x PC | 1 | 0,5449 ^{ns} | 0,0175 ^{ns} |
| Resíduo – PC | 8 | | |
| Total | 19 | | |
| CV% – C | | 7,82 | 7,78 |
| CV % - PC | | 5,28 | 6,40 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância da condutividade elétrica (CE) e potássio lixiviado (K LIX) dos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safra 2015/16.

| Fonte de Variação | GL | CE | K LIX |
|------------------------------|----|-----------------------|----------------------|
| Cultivo (C) | 1 | 11,0382 [*] | 0,2890 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | | |
| Parcelas | 9 | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 16,1865 ^{**} | 6,7438 [*] |
| Int. C x PC | 1 | 0,8824 ^{ns} | 0,4334 ^{ns} |
| Resíduo – PC | 8 | | |
| Total | 19 | | |
| CV% – C | | 8,22 | 12,34 |
| CV % - PC | | 7,39 | 8,24 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Tabela 9 - Resumo da análise de variância da condutividade elétrica (CE) e potássio lixiviado (K LIX) dos grãos de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safra 2016/17.

| Fonte de Variação | GL | CE | K LIX |
|------------------------------|----|------------------------|------------------------|
| Cultivo (C) | 1 | 2,5007 ^{ns} | 0,0048 ^{ns} |
| Resíduo – C | 8 | | |
| Parcelas | 9 | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 140,7676 ^{**} | 147,5497 ^{**} |
| Int. C x PC | 1 | 31,8394 ^{**} | 29,0529 ^{**} |
| Resíduo – PC | 8 | | |
| Total | 19 | | |
| CV – C | | 14,98 | 21,55 |
| CV - PC | | 7,44 | 8,25 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Capítulo 4 – Qualidade sensorial potencial de grãos de café cultivado sob sombreamento e submetido a diferentes processamentos pós-colheita

Tabela 10 - Resumo da análise de variância da nota final da análise sensorial da bebida de café em função do sistema de cultivo (pleno sol e sombreado) e do processamento pós-colheita (natural e cereja despulpado). Safras 2015/16 e 2016/17.

| Fonte de variação | GL | Nota Final da bebida | |
|------------------------------|----|----------------------|----------------------|
| | | Safra 2015/16 | Safra 2016/17 |
| Blocos | 3 | 16,4839 [*] | 0,4074 ^{ns} |
| Cultivo (C) | 1 | 3,9954 ^{ns} | 2,9512 ^{ns} |
| Resíduo – C | 3 | | |
| Parcelas | 7 | | |
| Pós-colheita (PC) | 1 | 10,1565 [*] | 6,3333 [*] |
| Int. C x PC | 1 | 4,0799 ^{ns} | 0,4386 ^{ns} |
| Resíduo – PC | 6 | | |
| Total | 15 | | |
| CV% – C | | 0,51 | 2,85 |
| CV % - PC | | 1,34 | 2,24 |
| Normalidade Shapiro-Wilk (W) | | Sim | Sim |

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F