



**GISELLE FIGUEIREDO DE ABREU**

**ASPECTOS SENSORIAIS, FISIOLÓGICOS E  
BIOQUÍMICOS DE GRÃOS DE CAFÉ  
ARMAZENADOS EM AMBIENTE  
REFRIGERADO**

**LAVRAS - MG**

**2015**

**GISELLE FIGUEIREDO DE ABREU**

**ASPECTOS SENSORIAIS, FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE  
GRÃOS DE CAFÉ ARMAZENADOS EM AMBIENTE REFRIGERADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientadora**

Dra. Sttela Delyzette Veiga Franco da Rosa

**Coorientadores**

Dra. Aline da Consolação Sampaio Clemente

Dr. Flávio Meira Borém

Dr. Marcelo Ribeiro Malta

**LAVRAS - MG**

**2015**

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

Abreu, Giselle Figueiredo de.

Aspectos sensoriais, fisiológicos e bioquímicos de grãos de  
café armazenados em ambiente refrigerado / Giselle Figueiredo de  
Abreu. – Lavras : UFLA, 2015.

157 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientador(a): Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa.

Bibliografia.

1. Café. 2. Qualidade. 3. Armazenamento refrigerado. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**GISELLE FIGUEIREDO DE ABREU**

**ASPECTOS SENSORIAIS, FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE  
GRÃOS DE CAFÉ ARMAZENADOS EM AMBIENTE REFRIGERADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2015.

Dr. Flávio Meira Borém	UFLA
Dr. Marcelo Ângelo Cirillo	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Malta	EPAMIG

Dra. Sttela Delyzette Veiga Franco da Rosa

**Orientadora**

**LAVRAS - MG**

**2015**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por se lembrar de mim.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Aos meus pais e familiares pelo amor, confiança e incentivo em todos os momentos de minha vida.

À minha orientadora Sttela, por aceitar me orientar e pela amizade, incentivo e conhecimento transmitido, contribuindo para meu amadurecimento e formação profissional.

Ao professor Dr. Flávio Meira Borém, pela coorientação e por todas as oportunidades que me ofereceu ao longo do Mestrado, contribuindo para meu desenvolvimento pessoal e profissional. Ao pesquisador, Dr. Marcelo Ribeiro Malta, pela coorientação, amizade e ensinamentos transmitidos. Ao professor Marcelo Ângelo Cirillo, pela paciência e disponibilidade em me ajudar com as análises estatísticas.

Aos laboratoristas Samuel, Elenir e Antônio e ao amigo Rucyan, pela ajuda na realização das análises químicas e bioquímicas. A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFLA, em especial a secretária da Pós-Graduação, Helem.

A todos os amigos do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, Afonso, Ana Claudia, Camila, Carlos Henrique, Danilo, Diego, Dieguinho, Eder, Fabrício, Flávio, Guilherme, Isabella, Joel, José Henrique, Lourenço, Murilo, Marcos Paulo, Valdiney e à laboratorista Ana Paula.

A todos os orientados da Sttela (Aline, Amanda, Cristiane, Danilo, Filipe, Francielle, Gabriel, Madeleine, Pedro, Rafaela, Rodrigo e Stefania,) pela ajuda na condução do experimento e pelo companheirismo. Em especial à Aline e à Cris, pela valiosa contribuição no trabalho.

Às amigas Fernanda e Rayana, pelos momentos de descontração e incentivo.

Ao João Paulo, pela ajuda e paciência, e a sua família, pelo carinho e apoio em todos os momentos.

## RESUMO GERAL

O armazenamento dos grãos é uma das etapas no processo produtivo de café em que, pelo uso de métodos inadequados, pode propiciar a redução da qualidade. Diversas alterações físicas, fisiológicas e bioquímicas podem ocorrer nos grãos, influenciando negativamente na qualidade da bebida do café. Tradicionalmente, os grãos de café são beneficiados antes de serem armazenados em ambiente não controlado, sendo acondicionados em sacos de juta. Nestas condições, os grãos ficam expostos às oscilações das condições ambientais, podendo acelerar o processo deteriorativo. Assim, surge a necessidade de investigar alternativas para o armazenamento seguro de grãos de café. Tendo em vista que a refrigeração do ar propicia a redução da deterioração de grãos de diversas espécies, objetivou-se investigar os efeitos do beneficiamento e do armazenamento em ar refrigerado sobre a qualidade sensorial e sobre características físicas, químicas, fisiológicas e bioquímicas do café natural e despulpado. Para esses estudos, foram realizados experimentos em duas safras, em que os frutos de café foram colhidos no estágio de maturação cereja e foram secados até atingirem 11% de teor de água, após serem processados por via seca (café natural, em coco) e via úmida (em pergaminho, despulpado). Após secagem, parte dos cafés foi beneficiada e outra parte mantida sem beneficiamento durante o armazenamento em condições controladas de ar refrigerado (10 °C e 50% de umidade relativa) e em ambiente a 25 °C, sem controle da umidade relativa. Na primeira safra, foram avaliados os parâmetros de cor dos grãos de café armazenados por oito meses. Já na segunda safra, os cafés foram avaliados aos 0, 3, 6 e 12 meses de armazenamento, por meio da avaliação sensorial e dos testes de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável total, açúcares totais, de germinação, tetrazólio, análise da cor e atividade de enzimas do processo antioxidativo. Para investigar os efeitos da refrigeração e do beneficiamento na conservação da qualidade dos grãos de café, foi aplicada a otimização de respostas simultâneas das variáveis sensoriais, fisiológicas e químicas dos cafés. De todos os experimentos e avaliações realizadas conclui-se que a redução da temperatura do ar e o armazenamento de grãos intactos, sem beneficiamento, contribuem para a manutenção da qualidade sensorial, química, física, fisiológica e bioquímica dos grãos de café, sendo uma alternativa tecnicamente viável para o armazenamento. Os efeitos benéficos desses fatores são evidenciados pela atividade de enzimas do processo antioxidativo e também são confirmados pelos estudos de otimização das variáveis respostas.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Conservação. Beneficiamento. Refrigeração. Qualidade.

## GENERAL ABSTRACT

The grain storage is one of the steps in the coffee production process but the use of improper methods may provide a reduction in quality. Various physical, physiological and biochemical changes may occur in the grains, influencing negatively on the coffee beverage quality. Traditionally, the coffee grains are benefited before being stored in uncontrolled environment being packed in jute sacks. In these conditions, the grains are exposed to changes in environmental conditions can accelerate the deteriorating process. Thus, there is a need to investigate alternatives to the secure storage of coffee grains. Considering that the cooling air provides the grains' deterioration reduction of several species, in this work aimed to investigate the effects of processing and storage in air cooled on the sensory quality and on physical, chemical, physiological and biochemical features of the depulped natural coffee. For these studies, experiments were conducted in two crops, where the coffee cherry fruits were harvested at maturity stage and were dried until they reach 11% water content after being processed by dry method (natural coffee, in coconut) and wet method (in parchment, depulped). After drying, part of the coffee were processed and other kept unprocessed during storage under controlled conditions of cooled air (10 °C and 50% relative humidity) and environment at 25 °C without relative humidity control. In the first harvest, color parameters of coffee grains stored for eight months were evaluated. In the second crop, the coffees were evaluated at 0, 3, 6 and 12 months of storage, through the sensory evaluation and electrical conductivity, potassium leaching, total acidity, total sugars, germination, tetrazolium, color analysis and enzyme activity of the antioxidant process. To investigate the effects of cooling and processing in the conservation of the quality coffee grains, it was applied to optimization of simultaneous responses of sensory variables, physiological and chemical. In all experiments and studies conducted it was concluded that reduction of the air temperature and the intact grain storage without processing, contribute to the maintenance of the sensory quality, chemical, physical, physiological and biochemical of the coffee grains, as an alternative technically feasible for storage. The beneficial effects of these factors are evidenced by the enzyme activity of the antioxidant process and are also confirmed by optimization studies of the response variables.

**Keywords:** *Coffea arabica* L. Conservation. Processing. Cooling. Quality.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

Figura 1	Teores de água (% b.u.) do café despulpado e armazenado beneficiado (a) e em pergaminho (b), durante o armazenamento.....	66
Figura 2	Teores de água (% b.u.) do café natural, armazenado beneficiado (a) e em coco (b) durante o armazenamento.....	67
Figura 3	Análise sensorial do café despulpado, armazenado beneficiado (a) e em pergaminho (b) durante o armazenamento.....	69
Figura 4	Análise sensorial do café natural, armazenado beneficiado (a) e em coco (b) durante o armazenamento.....	70
Figura 5	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) do café despulpado beneficiado, armazenado em diferentes condições.....	73
Figura 6	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) do café natural beneficiado, armazenado em diferentes condições.....	73
Figura 7	Acidez titulável total (ml NaOH 0,1 M.100g <sup>-1</sup> de amostra) do café natural armazenado em coco, em diferentes condições..	75
Figura 8	Protrusão radicular (%) do café despulpado em pergaminho armazenado em diferentes condições.....	76
Figura 9	Protrusão radicular (%) do café natural em coco armazenado em diferentes condições.....	77
Figura 10	Protrusão radicular (%) do café natural em coco armazenado em diferentes condições.....	79
Figura 11	Plântulas com folhas cotiledonares expandidas (%) do café despulpado e armazenado em pergaminho, em diferentes condições.....	79
Figura 12	Viabilidade no teste de tetrazólio, de grãos de café em pergaminho (a) e em coco (b), armazenados em diferentes condições.....	81

### ARTIGO 3

Figura 1	Perfil eletroforético da isoenzima Catalase (CAT) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despulpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C).....	121
Figura 2	Perfil fisiológico dos grãos de café processados por via úmida (café despulpado) e via seca (café natural), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em	

diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C)..... 122

Figura 3	Perfil sensorial dos grãos de café processados por via úmida (café despulpado) e via seca (café natural), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C).....	122
Figura 4	Perfil eletroforético da isoenzima Esterase (EST) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despulpado), armazenados eneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C).....	124
Figura 5	Perfil eletroforético da isoenzima Peroxidase (PO) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despulpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C).....	126
Figura 6	Perfil eletroforético da isoenzima Álcool Desidrogenase (ADH) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despulpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições de armazenamento. (10°C e 50% UR; 25°C).....	127
Figura 7	Valores médios da atividade enzimática da polifenoloxidase (PFO) ( $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ massa seca) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despulpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições de armazenamento. (10°C e 50% UR; 25°C).....	129

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 2

Tabela 1	Descrição das variáveis e objetivos a serem alcançados por meio da otimização de respostas simultâneas.....	98
Tabela 2	Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados no procedimento de otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés despolpados armazenados beneficiados.	101
Tabela 3	Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados no procedimento de otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés despolpados armazenados beneficiados.	102
Tabela 4	Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustado para cada variável mensurada nas análises do café despolpado armazenado beneficiado.....	103
Tabela 5	Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustada para cada variável mensurada nas análises do café despolpado armazenado não beneficiado.....	103
Tabela 6	Resumo do procedimento de otimização de respostas simultâneas aplicadas às variáveis dependentes relacionadas ao café despolpado armazenado.....	104
Tabela 7	Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados na otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés naturais armazenados beneficiados.....	107
Tabela 8	Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados na otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés naturais armazenados não beneficiados.....	107
Tabela 9	Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustada para cada variável mensurada nas análises do café natural armazenado beneficiado.....	108
Tabela 10	Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustada para cada variável mensurada nas análises do café natural armazenado não beneficiado.....	108
Tabela 11	Resumo do procedimento de otimização de respostas simultâneas aplicadas às variáveis dependentes relacionadas ao café natural armazenado.....	108

#### ARTIGO 4

Tabela 1	Valores médios da coordenada $a$ após oito meses de armazenamento dos grãos de café submetidos a diferentes tipos de processamento e de beneficiamento.....	145
Tabela 2	Valores da coordenada $b$ após oito meses de armazenamento dos grãos de café submetidos a diferentes tipos de beneficiamento e armazenados em diferentes condições.....	146
Tabela 3	Valores da coordenada $L$ após oito meses de armazenamento dos grãos de café submetidos a diferentes tipos de beneficiamento e armazenados em diferentes condições.....	147
Tabela 4	Resultados da análise sensorial e do potencial fisiológico de grãos de café natural e de café despulpado, submetidos a diferentes formas de beneficiamento e armazenados por oito meses em diferentes condições do ambiente.....	149

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> ..... 19
<b>2.1</b>	<b>Importância do café no Brasil</b> ..... 19
<b>2.2</b>	<b>Processamento do café</b> ..... 19
<b>2.3</b>	<b>Beneficiamento do café</b> ..... 23
<b>2.4</b>	<b>Armazenamento do café</b> ..... 26
<b>2.4.1</b>	<b>Alterações do café armazenado</b> ..... 27
<b>2.4.2</b>	<b>Armazenamento em ambiente refrigerado</b> ..... 29
<b>2.5</b>	<b>Avaliações da qualidade do café</b> ..... 30
<b>2.5.1</b>	<b>Aspectos sensoriais</b> ..... 31
<b>2.5.2</b>	<b>Aspectos fisiológicos</b> ..... 32
<b>2.5.3</b>	<b>Aspectos bioquímicos</b> ..... 35
<b>2.5.4</b>	<b>Aspectos químicos</b> ..... 39
<b>2.5.5</b>	<b>Aspectos físicos</b> ..... 40
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> ..... 58	
<b>ARTIGO 1 ASPECTOS SENSORIAIS, FISIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE GRÃOS DE CAFÉ DURANTE O ARMAZENAMENTO REFRIGERADO</b> ..... 59	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 61
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> ..... 63
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> ..... 69
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> ..... 86
<b>5</b>	<b>AGRADECIMENTOS</b> ..... 86
<b>REFERÊNCIAS</b> ..... 87	
<b>ARTIGO 2 OTIMIZAÇÃO SIMULTÂNEA DE VARIÁVEIS APLICADAS AO ESTUDO DO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE CAFÉ</b> ..... 94	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 96
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> ..... 98
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> ..... 105
<b>3.1</b>	<b>Otimização da combinação de fatores considerando as variáveis para o café despulpado armazenado beneficiado e não beneficiado</b> ..... 105
<b>3.2</b>	<b>Otimização da combinação de fatores considerando as variáveis para o café natural armazenado beneficiado e não beneficiado</b> ..... 110
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> ..... 114

<b>5</b>	<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	114
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	115
	<b>ARTIGO 3 CONSERVAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ EM AMBIENTE REFRIGERADO: RELEVÂNCIA DA ATIVIDADE DE ENZIMAS DO PROCESSO OXIDATIVO</b> .....	118
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	120
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	122
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	125
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	135
<b>5</b>	<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	135
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	136
	<b>ARTIGO 4 ALTERAÇÕES NA COLORAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ EM FUNÇÃO DAS OPERAÇÕES PÓS- COLHEITA</b> .....	141

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

A comercialização do café depende dos seus atributos qualitativos, variando significativamente o seu valor com a melhoria de sua qualidade. As novas exigências do mercado consumidor fazem da qualidade um fator importante, já que o café tem sido cada vez mais consumido pelos seus atributos sensoriais.

A qualidade dos grãos de café depende dos fatores genéticos, ambientais e tecnológicos. Contudo, para a preservação dos atributos sensoriais desejáveis as condições de armazenagem do café devem ser adequadas. Dessa maneira, o armazenamento é considerado uma importante etapa para a manutenção da qualidade do produto final, além de suprir demandas na entressafra e/ou assegurar melhores preços ao produtor.

No Brasil, o maior volume do café produzido é beneficiado antes de ser armazenado no sistema convencional, sendo acondicionado em sacos de juta e mantido em ar ambiente não controlado. Tradicionalmente, a operação do beneficiamento é realizada antes do armazenamento para reduzir o volume a ser transportado e armazenado. Contudo, no armazenamento em coco ou em pergaminho o endosperma do café encontra-se protegido dos fatores que podem interferir negativamente na qualidade. Já o armazenamento em sistema convencional, onde o café é acondicionado beneficiado em sacarias e armazenado em ambiente sem o controle das condições ambientais, é utilizado pelo elevado número de armazéns já instalados no país, garante a individualização dos lotes, é de fácil adaptabilidade ao comércio de pequena escala e de fácil inspeção. Entretanto, possui como desvantagem técnica a maior área exposta ao ar ambiente, favorecendo reações deteriorativas e consequente

alteração na qualidade do café, uma vez que os grãos são produtos higroscópicos e variam o seu conteúdo de água em função das condições do ambiente.

O armazenamento em condições controladas deve ser investigado, uma vez que a temperatura e a umidade relativa do ar são fatores que afetam o avanço do processo deteriorativo em grãos de café durante o período de armazenamento. De acordo com resultados de estudos tem sido demonstrado que a redução da temperatura e da umidade relativa do ar de armazenagem é eficaz na preservação das características qualitativas iniciais de grãos, aumentando o período de armazenamento e reduzindo o avanço do processo deteriorativo.

Assim, objetivou-se neste trabalho investigar os efeitos do beneficiamento e das condições de armazenamento sobre a qualidade do café natural e despulpado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Importância do café no Brasil**

A cafeicultura é uma das principais fontes de divisas para o Brasil que tem se destacado desde o final do século XIX como o maior produtor e exportador de café. A estimativa da produção brasileira na safra de 2013/2014 foi de 45,3 milhões de sacas de café e a participação brasileira na produção mundial foi de 32,16% em 2014 (INFORME ESTATÍSTICO DO CAFÉ, 2014).

Apesar do grande êxito da cafeicultura brasileira nas duas últimas décadas, o setor produtivo precisa estar atento às mudanças na demanda dos consumidores. Neste contexto, a qualidade do produto é um fator fundamental na conquista de novos mercados. Os atributos de qualidade do café englobam uma ampla gama de conceitos, que vão desde características físicas, como origens, cultivares, cor e tamanho, até preocupações de ordem ambiental e social, como os sistemas de produção e as condições de trabalho da mão de obra cafeeira (BRAZILIAN SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION, 2013).

### **2.2 Processamento do café**

O processamento do café é dividido em dois métodos: a via seca e a úmida. No processamento via seca os frutos são secados com todos seus componentes (exocarpo, mesocarpo e endocarpo). Já no processamento via úmida, podem ser produzidos três tipos de café. O café descascado, em que é removido mecanicamente o exocarpo e partes do mesocarpo; o café desmucilado em que é removido mecanicamente o exocarpo e todo o mesocarpo; e o café despulpado, aquele em que é removido mecanicamente o exocarpo e por fermentação biológica, o mesocarpo (BORÉM, 2008).

O método de processamento interfere na composição química dos grãos crus, impactando diretamente nos aspectos sensoriais da bebida do café (BYTOF et al., 2005; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006). Entre os fatores tecnológicos envolvidos no processo de produção do café, considera-se que o tipo de processamento altera significativamente o conteúdo de açúcares nos grãos crus (DUARTE; PEREIRA; FARAH, 2010; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006).

De modo geral, os cafés naturais originam bebidas mais doces e encorpadas quando comparados aos cafés processados por via úmida, os quais possuem acidez mais acentuada (ILLY; VIANI, 1995). Isso porque os cafés naturais possuem maiores teores de açúcares e sólidos solúveis (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; RIBEIRO, 2013; VILELLA et al., 2002), contribuindo para o aumento na doçura do café e consequentemente o aumento do corpo da bebida.

Com relação aos aspectos fisiológicos, em ambos os tipos de processamento, os grãos de café permanecem viáveis (CLÉVES, 1998; HUXLEY, 1964) e possuem processos metabólicos ativos (SELMAR et al., 2005, 2006). Contudo, grãos de café processados por via úmida parecem ter qualidade fisiológica superior aos processados por via seca (ALVES, 2013; MALTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2012; ROSA et al., 2013; TAVEIRA et al., 2012). Uma das hipóteses para este fenômeno é o maior período de exposição ao ar de secagem que os grãos naturais são submetidos, por possuírem maior conteúdo de água quando comparados aos grãos despulpados. Esta situação expõe o embrião e o endosperma a danos térmicos mais severos, favorecendo a maior perda da integridade das membranas celulares (ALVES, 2013; SAATH et al., 2012; TAVEIRA et al., 2012). Além disso, a presença do exocarpo nos grãos de café natural oferece maior resistência às trocas de energia e massa dentro dos grãos durante a secagem, promovendo uma tensão superior à suportada pela estrutura celular dos grãos (SAATH et al., 2014).

Além dos aspectos fisiológicos, há diferenças entre cafés processados por via úmida e por via seca que podem ser explicadas por alterações metabólicas que ocorrem nos grãos durante o processamento, culminando em constituição bioquímica distinta (LIVRAMENTO, 2008). Estudos comprovaram que o processo de germinação é induzido durante o processamento do café (BYTOF et al., 2007; SELMAR et al., 2006), ocorrendo maior expressão da enzima isocitrato liase (ICL), relacionada ao metabolismo da germinação, e um aumento na quantidade de  $\beta$ -tubulina, um marcador para a divisão ou alongamento celular em grãos processados por via úmida (SELMAR et al., 2006).

Esta situação implica em consumo das substâncias de reserva em grãos de café processados por via úmida para iniciar o processo de germinação. As substâncias de reservas presentes no endosperma dos grãos de café representam os precursores do sabor e aroma que se formarão no café torrado, influenciando diretamente a qualidade de bebida. Dessa maneira, uma das explicações para as diferenças na doçura entre cafés naturais e despulpados pode ser explicada pelo fato de que nos cafés despulpados parte dos açúcares foi consumida no processo de germinação.

Alterações metabólicas que ocorrem nos grãos durante o processamento constituem-se num conjunto complexo da atividade de inúmeras enzimas presentes nos grãos e sementes. Por isso, o estudo de enzimas que atuam em diferentes sítios e rotas metabólicas dentro das células é importante para elucidar as diferenças nas características de qualidade dos cafés processados de maneiras distintas. Neste contexto, a atividade de enzimas antioxidantes é uma variável promissora para diferenciar a qualidade dos cafés submetidos a diferentes manejos pós-colheita (SAATH et al., 2014; TAVEIRA et al., 2012).

Uma das enzimas do sistema antioxidante é a catalase, que transforma peróxido de hidrogênio em água, promovendo a conservação da qualidade dos

grãos (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2004). Estudos detectaram maior atividade enzimática da catalase e menor qualidade fisiológica em grãos de café processados por via seca quando comparado ao processado por via úmida (PEREIRA, 2014; TAVEIRA et al., 2012), revelando uma maior requisição da enzima frente ao evento deteriorativo.

Outra enzima que atua no sistema antioxidante das células é a enzima peroxidase (PO). Estudos detectaram uma maior expressão da enzima PO e maior qualidade fisiológica em grãos processados por via úmida comparados aos naturais, indicando aumento de radicais livres e redução da atividade dessa enzima nos cafés processados por via seca (SAATH, 2010; TAVEIRA et al., 2012).

O comportamento das enzimas catalase e peroxidase pode ser explicado pelo fato de que a secagem do café proveniente do processamento via seca (natural) requer exposição mais prolongada ao ar do que o despulpado (ALVES, 2013; SAATH et al., 2012; TAVEIRA et al., 2012). Dessa forma, o perfil eletroforético da CAT e PO pode ser um indicador bioquímico da desnaturação das sementes de café causada pela exposição prolongada a elevadas temperaturas.

Além as enzimas do complexo antioxidante, a enzima polifenoloxidase destaca-se nos grãos de café, pois sua baixa atividade relaciona-se com cafés de qualidade inferior (CHAGAS; MALTA; PEREIRA, 2005; PIMENTA; VILELA, 2003; MALTA et al., 2013). Cafés naturais apresentam menor atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) comparados aos cafés despulpados (MALTA et al., 2013; SAATH, 2014; SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009; TAVEIRA et al., 2012). Abrahão et al. (2010), Borém et al. (2008) e Saath et al. (2012) atribuem a menor qualidade sensorial aos cafés com elevado teor de compostos fenólicos. Isto ocorre, pois a enzima PPO age sobre os compostos fenólicos, os quais conferem a bebida do café o sabor adstringente e

indesejável quando em teores elevados (SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009). Então, se a enzima possui baixa atividade significa que ela não está atuando sobre os compostos fenólicos, fazendo com que a bebida do café se torne adstringente e indesejável.

Além de alterações sensoriais, químicas, fisiológicas e bioquímicas, um aspecto físico bastante alterado conforme o processamento do café é a coloração dos grãos. O processamento via úmida produz naturalmente cafés com coloração verde-azulada, o que é caracterizado pela redução dos valores das coordenadas cromáticas *a* e *b*, distanciando da coloração indesejável vermelho-amarelo e aproximando da coloração desejável verde-azulada (CORRÊA et al., 2002). Além disso, grãos de café processados por via úmida apresentam menor variação na coloração quando comparados aos grãos obtidos por via seca, até os oito primeiros meses de armazenamento (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003).

Contudo, como o café processado por via úmida é mais susceptível à ocorrência de danos mecânicos, pode ocorrer aumento da coordenada *L*, a qual está associada à luminância do grão e indica maior branqueamento em comparação aos grãos processados por via seca (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003).

### **2.3 Beneficiamento do café**

O beneficiamento do café é o conjunto de operações que transformam o café em coco ou em pergaminho, no café em grão, tendo como resíduo a casca (exocarpo, mesocarpo e endocarpo) ou o pergaminho (endocarpo), respectivamente. De modo geral, o beneficiamento é composto pelas operações de recebimento, limpeza, descascamento e seleção preliminar.

Essas operações são realizadas em máquinas denominadas Conjugadas para o beneficiamento do café. O beneficiamento propriamente dito ocorre no

descascador, constituído pelas vazadeiras, rotor, faca regulável e discos laterais, onde os grãos de café são pressionados mecanicamente pela rotação do rotor e a inclinação das facas contra as vazadeiras, rompendo a casca e liberando o grão. Esta operação promove elevado atrito entre os grãos e os componentes do núcleo do descascador de café, podendo causar danos mecânicos aos grãos como trincas ou danos latentes percebidos ao longo do armazenamento.

Estresses mecânicos causados durante o beneficiamento podem proporcionar a aceleração do processo de branqueamento de grãos de café. Esta condição provoca a desestruturação de membranas celulares e desorganização celular, promovendo a redução na qualidade (AMORIM, 1978; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Independente do tipo de processamento empregado, grãos de café beneficiados são mais susceptíveis ao branqueamento durante o armazenamento em condições ambiente (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003), sendo observadas mudanças na coloração com redução, principalmente, da intensidade das cores verde e azul com o aumento do tempo de armazenamento. Isso pode ser explicado devido à presença do pericarpo nos grãos de café armazenados em coco, que possui função protetora e pode prevenir variações na cor do produto quando comparado com o produto armazenamento beneficiado (GODINHO et al., 2000; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Além da coloração, alterações na composição química também são afetadas pela interação do beneficiamento e armazenamento. Godinho et al. (2000) verificaram diferenças significativas nos valores de acidez titulável entre os cafés em coco e beneficiado durante o armazenamento. Os cafés em coco apresentaram menores índices de acidez quando comparados ao beneficiado a partir do terceiro mês de armazenamento.

Avaliações fisiológicas são sensíveis em detectar alterações na organização celular. Há relatos de relação direta entre o aumento do tempo de

armazenamento com danos ao sistema de membranas, detectado pelo aumento nos valores de lixiviação de potássio, sendo que os valores são maiores para os cafés armazenados beneficiados quando comparados aos armazenados em coco (GODINHO et al., 2000). Contudo, quando os grãos de café são acondicionados em embalagens permeáveis, ocorre aumento semelhante dos valores de potássio lixiviado em grãos armazenados beneficiados e em pergaminho (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; NOBRE et al., 2007).

A presença da casca (pericarpo) ou pergaminho (endocarpo) nos grãos de café também é importante para a manutenção da qualidade sensorial dos grãos, uma vez que protege o endosperma contra a oxidação de lipídios e proteínas (RENDÓN; SAKVA; BRAGAGNOLO, 2013; SELMAR; BYTOFF; KNOPP, 2008). Estes autores relataram relação direta entre a perda de viabilidade dos grãos e a queda da qualidade sensorial. Rendón, Sakva e Bragagnolo (2013) observaram em sua pesquisa que após o beneficiamento do café, realizado aos 3 meses de armazenamento, a viabilidade dos grãos diminuiu rapidamente até a perda total no nono mês, juntamente ao decréscimo na qualidade sensorial. Selmar et al. (2008) verificaram perda total da viabilidade das sementes de café armazenadas beneficiadas, após 6 meses de armazenamento. Já os cafés armazenados em pergaminho permaneceram viáveis por 12 meses. A mesma tendência foi observada na bebida do café.

Uma das hipóteses que os autores utilizam para explicar estes resultados é o estresse mecânico a que os grãos são submetidos durante o processo de beneficiamento, resultando em lesões que são posteriormente responsáveis pelo rápido declínio da viabilidade dos grãos.

Contudo, mais pesquisas são necessárias para encontrar uma explicação para o forte efeito da presença da casca e do pergaminho na qualidade dos grãos armazenados, que também afeta a qualidade de bebida dos cafés.

## 2.4 Armazenamento do café

O armazenamento de grãos tem o objetivo de manter a qualidade do produto no período entre a colheita e sua comercialização, garantindo a adequada distribuição e abastecimento de distintos mercados consumidores (BORÉM, 2008). Contudo, ao longo do armazenamento alguns fatores podem promover alterações nos grãos de café, reduzindo a qualidade inicial do produto.

Fatores como qualidade inicial do produto, manejo pós-colheita; teor de água, intensidade de luz, temperatura e umidade relativa do ambiente, tempo de armazenamento, tipo de armazenamento entre outros (BORÉM et al., 2013; CORADI et al., 2007; CORADI, BORÉM; OLIVEIRA, 2008; NOBRE et al., 2007; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000). Além disso, o próprio metabolismo dos frutos secos (em coco ou em pergaminho) ou do café beneficiado resulta em alterações fisiológicas, químicas e sensoriais (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; GODINHO et al., 2000; LOPES et al., 2000; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

O método de armazenamento interfere na manutenção da qualidade dos grãos de café ao longo do armazenamento. Os métodos utilizados para o armazenamento dos grãos de café são classificados de acordo com o tipo de acondicionamento e manuseio do produto, sendo o armazenamento convencional referente ao café armazenado em sacaria e o armazenamento a granel, caracterizado pelo café estocado e manuseado sem sacaria.

No Brasil, a maior parte do café é armazenada após o beneficiamento no sistema convencional, sem o controle da temperatura e sem refrigeração. Os grãos ficam acondicionados em sacos de juta, permitindo a variação do conteúdo de água dos grãos e interações com o ar ambiente, favorecendo a redução da qualidade inicial (BORÉM et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al.,

2011; RIGUEIRA et al., 2009). Este tipo de armazenamento é predominante em razão do grande número de armazéns convencionais já construídos e em funcionamento no país.

#### **2.4.1 Alterações do café armazenado**

Ao longo do armazenamento, diversas alterações fisiológicas, químicas e bioquímicas ocorrem nos grãos afetando a qualidade sensorial (BORÉM et al., 2013; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; SAATH et al., 2014; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008). Pesquisas têm demonstrado queda na qualidade da bebida com aumento do tempo e da temperatura de armazenamento (BORÉM et al., 2013; CORADI et al., 2007; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; MARQUES et al., 2008; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009; SAATH et al., 2012). A redução da qualidade sensorial ao longo do armazenamento pode ser explicada pelo processo oxidativo de proteínas e lipídeos que ocorre nos grãos, afetando também a viabilidade (RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Neste contexto, o armazenamento de grãos em ambiente refrigerado tem se mostrado eficaz na preservação e conservação das características qualitativas iniciais de grãos de café cereja descascado, mantendo a qualidade da bebida (RIGUEIRA et al., 2009).

Os aspectos fisiológicos das sementes e grãos são alterados conforme as condições e tempo de armazenamento. A redução da temperatura a 10 °C tem sido adequada para manutenção da qualidade fisiológica de grãos e sementes de café ao longo do armazenamento no período de pelo menos nove meses (BRANDÃO JUNIOR; VIEIRA; HILHOST, 2002; ROSA et al., 2011).

Vários autores têm observado variações na lixiviação de potássio e condutividade elétrica de grãos de café durante o armazenamento e concluíram que ocorre maior deterioração das membranas celulares com o aumento do tempo de armazenagem, em razão do aumento significativo da quantidade de íons lixiviados (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; CORRÊA et al., 2003; GODINHO et al., 2000; NOBRE et al., 2007; RIGUEIRA et al., 2009; RODRIGUES, 2009; SAATH, 2010; SILVA et al., 2001).

A respeito das modificações químicas dos grãos de café ao longo do armazenamento, há relatos de decréscimo do conteúdo de açúcares dos grãos de café (AFONSO JÚNIOR, 2001; CORADI et al., 2007; GODINHO et al., 2000; REINATO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011). O teor de açúcares parece estar diretamente relacionado com a atividade do sistema respiratório dos grãos durante o armazenamento. Espera-se que quanto maior a respiração dos grãos maior é o consumo de açúcares, causando sua redução durante o período de armazenagem e a deterioração do produto (AFONSO JÚNIOR, 2001).

Durante o armazenamento alterações de ordem físicas nos grãos podem ocorrer, como modificações nos padrões de coloração dos grãos, mesmo em condições adequadas (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006). Observa-se a mudança da tonalidade verde-azulada para marrom-clara e esbranquiçada, fenômeno este conhecido como branqueamento. Fatores como danos sofridos pelo produto, condições do armazenamento (luz, umidade relativa, temperatura) teor de água dos grãos, tempo de armazenagem e tipo de embalagem devem ser considerados (BORÉM et al., 2013; CORADI; BORÉM, 2009; GODINHO et al., 2000; ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE, 2005; RIBEIRO et al., 2011; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

Alterações na expressão de sistemas enzimáticos podem ser indicativas de processos deteriorativos em sementes e grãos sob condições de estresse

(DUSSERT et al., 2006), como em situações inadequadas de armazenamento. As condições de temperatura e umidade relativa do ar são extremamente importantes para a evolução do processo deteriorativo em grãos de café durante o armazenamento (SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005). Neste contexto, estudos dos sistemas enzimáticos são ferramentas para detectar os processos deteriorativos dos grãos de café armazenados (SAATH et al., 2014).

Um exemplo de alteração enzimática é observado na expressão da enzima esterase (EST), que atua sobre a hidrólise de ésteres e no metabolismo de lipídios (BRANDÃO JÚNIOR; VIEIRA; HILHOST, 2002; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005). Pesquisas detectaram diminuição do número de bandas e intensidade da enzima esterase com a perda da viabilidade das sementes de café (BRANDÃO JÚNIOR et al., 1999).

Outro caso de alteração no padrão enzimático durante processo deteriorativo é observado na enzima peroxidase (PO). A PO é uma enzima relacionada às alterações de aroma, textura e cor dos grãos de café durante armazenamento. A perda de atividade pode tornar o grão mais sensível aos efeitos de  $O_2$  e radicais livres. Isto ocorre porque o sistema enzimático da enzima utiliza  $H_2O_2$  para catalisar a oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo polifenóis. Estudos revelam que o armazenamento em condições de ambiente não controlado inibiu a atividade de enzimas antioxidantes, como é o caso da PO, de forma mais acentuada nos grãos de café natural (SAATH et al., 2014).

#### **2.4.2 Armazenamento em ambiente refrigerado**

Armazenamento refrigerado remete ao conceito de carga térmica, uma vez que esse termo representa a retirada de calor gerado pelo produto

armazenado para reduzir sua temperatura até o nível desejado. O resfriamento do ar de armazenagem é uma técnica para o controle das condições de temperatura e umidade relativa, que são extremamente importantes para controlar o avanço do processo deteriorativo nos produtos agrícolas durante o armazenamento (SAATH et al., 2014; SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005).

Tecnicamente, a refrigeração é um dos métodos conhecidos mais eficazes para conservar produtos com características desejáveis semelhantes ao seu estado inicial, retardando a respiração, alterações químicas e enzimáticas e o processo de senescência (HARDENBURG; WATADA; WANG, 1986). Isso ocorre devido ao fato de que os produtos agrícolas estão sujeitos a processos fisiológicos e patológicos em função direta com a temperatura e umidade relativa do ar de armazenagem (ASHREA, 1994). Com o controle das condições do ar de armazenagem, é possível reduzir o processo de deterioração, mantendo a qualidade do produto armazenado e aumentando a segurança ao consumidor (BRACKETT, 1987; BRECHT et al., 2003).

A técnica de refrigeração para a conservação dos alimentos é utilizada principalmente na cadeia pós-colheita de frutas e hortaliças (MALGARIM; CANTILLANO; TREPTOW, 2007; SILVA et al., 2009). Contudo, trabalhos tem demonstrado a viabilidade técnica do armazenamento de grãos e, resultados de estudos têm comprovado que a redução da temperatura da massa de grãos, abaixo de 15 °C tem sido eficiente para garantir a conservação da qualidade dos produtos agrícolas, aumentando o período de armazenamento e diminuindo os processos de deterioração (QUIRINO et al., 2013; RIGUEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2013).

## **2.5 Avaliações da qualidade do café**

O valor comercial dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) está diretamente relacionado com sua qualidade. Diversos fatores estão associados à qualidade da bebida do café, entre eles a composição química do grão, determinada por fatores genéticos, culturais e ambientais; os processos pós-colheita; a torração, moagem e o preparo da bebida (ALPIZAR; BERTRAND, 2004; BORÉM, 2008; CARVALHO et al., 1994; FARAH et al., 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; PIMENTA et al., 2008). Por isso, os cuidados com a colheita e o manejo pós-colheita são fundamentais para garantir a comercialização e lucro ao cafeicultor (FAVARIN et al., 2004).

A qualidade dos grãos de café é avaliada por suas características físicas e sensoriais, através da classificação por peneira, tipo, análise da bebida e pelo aspecto visual (BRASIL, 2003).

### **2.5.1 Aspectos sensoriais**

Os cafés *commodities* são classificados pela prova de xícara de acordo com o protocolo da Instrução Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2003). Contudo, esta análise é subjetiva, podendo variar entre os provadores. Por esta razão atualmente têm sido adotados com maior frequência métodos de análises sensoriais descritivas, pelas quais os provadores conferem notas a cada atributo sensorial da bebida. Entre esses métodos, destacam-se o proposto pela *Specialty Coffee Association of America* (SCCA).

O método SCCA baseia-se em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por uma equipe de julgadores selecionada e treinada. São atribuídas notas de zero a 10 pontos na avaliação dos 10 principais atributos que compõem o perfil sensorial do café, como fragrância/aroma, uniformidade, defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, sabor residual, equilíbrio e

impressão geral do café. A somatória das notas individual de todos os atributos constitui a nota final, que representa a qualidade global do café.

À medida que o tempo de armazenamento do café é prolongado, a sua qualidade sensorial diminui (AFONSO JÚNIOR et al., 2006; BORÉM et al., 2013; CORADI et al., 2007; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009; SCHEIDIG; SCHIEBERLE, 2006).

As alterações sensoriais da bebida de café durante a armazenagem têm sido associadas à oxidação lipídica (SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006). Além disso, os produtos derivados da oxidação de lípidos podem reagir com outros componentes do grão de café, tais como proteínas, podendo contribuir para mudanças no aspecto sensorial (RENDÓN; SAKVA; BRAGAGNOLO, 2013).

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos na análise sensorial em função dos tratamentos aplicados, outras análises, as fisiológicas, bioquímicas, químicas e biofísicas podem ser realizadas.

### **2.5.2 Aspectos fisiológicos**

Grãos e sementes de café possuem a mesma estrutura básica (endosperma e embrião), mas se diferem quanto à finalidade. Enquanto os grãos são utilizados para o consumo humano, as sementes têm como finalidade a reprodução vegetal. Por serem morfologicamente iguais, os eventos que deterioram as sementes são os mesmos que prejudicam os grãos. Assim, avaliações fisiológicas podem ser utilizadas para a avaliação da qualidade de grãos de café.

Neste contexto, diversos trabalhos têm demonstrado estreita relação entre a qualidade fisiológica e a qualidade sensorial dos grãos de café (BORÉM et al., 2008; MALTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013; SAATH et al., 2012;

TAVEIRA et al., 2012; TOSTA, 2014). Sendo que as alterações na qualidade fisiológica podem ser confirmadas por testes como o de germinação, tetrazólio, condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

De acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), o objetivo do teste de germinação é determinar o potencial máximo de germinação de um lote de sementes, cuja utilização permite comparar a qualidade de diferentes lotes e também estimar o valor da semeadura em campo.

Trabalhos relacionam qualidade fisiológica de grãos de café com a qualidade sensorial (MALTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013), sendo que lotes com maior porcentagem de germinação, protrusão radicular e plântulas com folhas cotiledonares expandidas possuem elevada qualidade sensorial. Neste contexto, vários autores verificaram que cafés despulpados possuem maior qualidade fisiológica e sensorial quando comparados aos cafés processados por via seca (MALTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2010,2013; TAVEIRA et al., 2012).

Afonso Júnior et al. (2006), estudando a armazenabilidade de sementes de café em ambientes diferentes, constataram que a porcentagem de germinação das sementes de café diminuem com o período de armazenamento, e aumenta com a redução da temperatura de armazenagem para 15 °C. Rosa et al. (2013) também observaram que o ambiente refrigerado proporcionou melhores condições de armazenamento, já que a germinação dos cafés naturais e despulpados armazenados a 25 °C por oito meses foi nula. Diferente dos cafés armazenados no ambiente refrigerado (10 °C), onde a germinação se manteve elevada desde o início do armazenamento para os cafés despulpados, e para os cafés naturais houve queda na porcentagem de germinação, contudo no ambiente com temperatura de 25 °C a redução foi mais acentuada.

Os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica indicam possíveis danos ao sistema de membrana celular (KRZYZANOWSKY;

FRANÇA NETO; HENNING, 1991; PRETE, 1992). O aumento observado nos valores de lixiviação e condutividade elétrica indica desorganização das membranas celulares, que é acompanhada por uma perda de controle da permeabilidade e pelo extravasamento de solutos, promovendo reações oxidativas ou catalíticas, resultando em produtos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial do café (BORÉM et al., 2008; CORADI et al., 2007; MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005).

Têm sido observadas variações na lixiviação de potássio e condutividade elétrica de grãos de café durante o armazenamento, sendo que maior deterioração das membranas celulares ocorre com o aumento do tempo de armazenagem, em razão do aumento significativo da quantidade de íons lixiviados (AFONSO JÚNIOR et al., 2006; COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; CORRÊA et al., 2003; GODINHO et al., 2000; NOBRE et al., 2007; RIGUEIRA et al., 2009; RODRIGUES, 2009; SAATH, 2012; SILVA et al., 2001).

Rigueira et al.(2009) avaliaram a condutividade elétrica dos grãos de café armazenados em pergaminho e concluíram que os valores se mantiveram constantes durante o período de armazenamento na condição de refrigeração a 15 °C, enquanto que na condição de temperatura de 25 °C a condutividade elétrica aumentou a partir do quinto mês. Os valores de íons de potássio lixiviado em grãos armazenados a 15 °C foram significativamente menores quando comparados à condição de armazém convencional.

Saath et al. (2012) observaram em seus estudos que após armazenado por 12 meses em ambiente não controlado, grãos de café obtidos pelo processamento natural e despulpado apresentaram altos valores de condutividade elétrica, quando comparado aos valores obtidos nas avaliações realizadas antes do armazenamento. Além disso, também observou relação inversa existente entre a condutividade elétrica e a análise sensorial dos grãos de café.

Outro teste fisiológico utilizado para detectar alterações fisiológicas nos grãos é o teste de tetrazólio, que avalia a viabilidade dos grãos de café. Baseia-se na atividade das enzimas desidrogenases, que reduzem o sal 2,3,5 trifenil cloreto ou brometo de tetrazólio nos tecidos vivos da semente (DELOUCHE et al., 1976). A redução do sal ocorre apenas nas células vivas, resultando na formação do trifenilformazam, composto vermelho e indifusível que confere cor vermelha ao tecido vivo do embrião.

Pesquisas têm relacionado a viabilidade dos grãos com o sua qualidade sensorial (RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008). Sendo que ao longo do armazenamento dos grãos de café tem-se a viabilidade, a estrutura celular e as características sensoriais reduzidas, devido ao processo oxidativo (RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013).

### **2.5.3 Aspectos bioquímicos**

Os métodos tradicionais que avaliam a qualidade dos grãos, como a análise sensorial e mais recentemente os testes fisiológicos, químicos e físicos, têm sido associados às análises bioquímicas. São estudadas enzimas associadas ao processo de germinação, processos de proteção ou associadas aos eventos deteriorativos (CARVALHO et al., 2006; HENNING et al., 2009; ROSA et al., 2005; TAVEIRA et al., 2012).

A eletroforese é uma técnica que vem sendo utilizada no estudo de proteínas e isoenzimas que possuem relação com as mudanças na qualidade fisiológica de sementes e grãos, e também nas regulações gênica, bioquímica, ontogênica, entre outros (INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION- ISTA, 1992). Em resposta a um campo elétrico, durante a eletroforese as moléculas com carga negativa migram para o polo positivo e as moléculas com carga positiva migram para polo negativo.

Determinadas enzimas têm a capacidade de prevenir, tolerar ou reparar o ataque das “espécies reativas de oxigênio”, comumente conhecidas como radicais livres (BRANDÃO JÚNIOR; VIEIRA; HILHOST, 2002; VEIGA et al., 2007; VIDIGAL et al., 2009). Enzimas, como catalase, peroxidase, superóxido dismutase e polifenoloxidase atuam como removedoras de “espécies reativas de oxigênio” (EROs) (BERJAK, 2006; PEREIRA, 2010) e estão envolvidas no sistema de proteção contra deterioração. Já enzimas, como a esterase participam das reações de hidrólise de ésteres, podendo ter ação prejudicial sobre os fosfolipídios (BRANDÃO JÚNIOR; CARVALHO; VIEIRA, 1999; CHAUHAN et al., 1985; VIEIRA, 1996).

Ao longo dos processos pós-colheita do café, os grãos estão sujeitos a ações deteriorativas que comprometem a qualidade sensorial do café e o desempenho fisiológico das sementes. Nos grãos e sementes, as principais alterações relacionadas ao processo de deterioração são a degradação e inativação de enzimas (COPELAND; MCDONALD, 2001), redução da atividade respiratória (VIDIGAL et al., 2009) e perda de integridade das membranas celulares (MCDONALD, 1999). Portanto, estudar os padrões enzimáticos é uma ferramenta importante para compreender os eventos deteriorativos que ocorrem nos grãos e nas sementes.

As espécies reativas de oxigênio (EROs) são produzidas durante o metabolismo da planta, particularmente em cloroplastos e mitocôndrias (PUNTARULO et al., 1991), e as coenzimas SOD constituem o primeiro grupo de enzimas que catalisa a reação de dismutação de radicais superóxido livres ( $O_2^-$ ) para oxigênio molecular ( $O_2$ ) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (MCDONALD, 1999). Contudo, o excesso de peróxido de hidrogênio acarreta efeitos prejudiciais, como a lipoperoxidação de membranas e oxidação de proteínas (GRATÃO et al., 2005). Neste contexto, a atividade das enzimas

catalase (CAT) e peroxidase (PO) é fundamental, pois ambas catalisam a conversão do  $\text{H}_2\text{O}_2$  em  $\text{O}_2$  e água.

A catalase é uma enzima antioxidante capaz de realizar a desintoxicação de  $\text{O}_2^-$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (BAILLY et al., 2004; MCDONALD, 1999) principalmente no citoplasma, sendo a síntese completada no peroxissomo. Em outros compartimentos subcelulares, o peróxido de hidrogênio é removido pelas peroxidases (MCDONALD, 1999). Os sistemas compostos pela SOD e CAT atuam como desintoxicadores, antes que a lesão seja provocada, buscando neutralizar as EROs (BLOKHINA; VIROLAINEN; FAGERSTEDT, 2003; PEREIRA, 2010).

A peroxidase também é uma enzima removedora de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e a perda da sua atividade pode tornar a semente mais sensível aos efeitos de  $\text{O}_2$  e radicais livres sobre os ácidos graxos insaturados de membrana. Isso provoca a degeneração de membranas e o comprometimento fisiológico de grãos e sementes. As enzimas peroxidases desempenham papel crítico no metabolismo das plantas e na oxidação por peróxidos, como aceptores de hidrogênio, sendo importante mecanismo de defesa (FARIA et al., 2003).

A esterase é uma enzima envolvida na hidrólise de ésteres, portanto é associada ao metabolismo dos lipídeos. A peroxidação de lipídeos é um evento associado a danos de membrana dos grãos (BRANDÃOJÚNIOR; VIEIRA; HILHOST, 2002; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005; VEIGA et al., 2010). Por isso alterações nos padrões dessa enzima podem contribuir para a ocorrência de eventos deteriorativos, reduzindo a qualidade fisiológica de grãos e sementes. A diminuição do número de bandas e intensidade da enzima esterase parece estar associada à perda da viabilidade das sementes de café (BRANDÃO JÚNIOR et al., 1999).

A enzima Álcool Desidrogenase atua no metabolismo anaeróbico de plantas, promovendo redução do acetaldeído a etanol (BUCHANAN;

GRUISSEM; JONES, 2005). Os produtos finais desse metabolismo fermentativo são tóxicos para as células, mas o etanol parece ser o produto menos deletério comparado ao acetaldeído.

Assim, a baixa atividade enzimática da ADH aumenta a produção de acetadeído, acelerando a deterioração dos grãos e sementes (ZHANG et al., 1994). A produção de acetaldeído pelos grãos e sementes durante o armazenamento pode ser um importante fator que acelera a deterioração (ZHANG et al., 1994). Dessa maneira, a atividade da enzima deve ser considerada um marcador de qualidade fisiológica.

Vários trabalhos têm associado a atividade da polifenoloxidase com a qualidade sensorial dos grãos de café (CARVALHO et al., 1994; CHAGAS; MALTA; PEREIRA, 2005; MALTA et al., 2013). A oxidação dos polifenóis, pela PFO, pode prejudicar a bebida do café, sendo considerado como um dos principais indutores da depreciação da qualidade. Além disso, a redução na atividade dessa enzima está relacionada à integridade do sistema de membranas.

No momento em que o sistema de membranas é danificado a polifenoloxidase é liberada e ativada, oxidando o ácido clorogênico e seus isômeros, conferindo maior adstringência aos frutos (CARVALHO; GOSMANN; SCHENKEL, 2001; SANTANA et al., 2008). Entretanto, esses compostos têm importante função antioxidante e de proteção de aldeídos, como ácidos clorogênicos e o cafeico. Quando ocorrem danos nas membranas, essas enzimas são liberadas e ativadas, e podem reagir com substratos fenólicos intra e extracelular, e transforma-los em quinonas.

Ao longo do armazenamento do café em diversas condições, a atividade enzimática da polifenoloxidase possui melhores valores em grãos de café armazenados em condições de temperatura controlada de 10 e 20 °C, sendo que os valores da atividade dessa enzima diminuem com o aumento da temperatura e do tempo de armazenamento (CORRÊA et al., 2003).

#### 2.5.4 Aspectos químicos

A composição química do café beneficiado grão cru é dependente da forma de processamento utilizada (BORÉM, 2008; BYTOF et al., 2005; KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006), impactando nas características distintas na qualidade. De maneira geral, os cafés naturais originam bebidas mais encorpadas e doces quando comparados aos processados por via úmida, os quais possuem acidez mais desejável (SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009). Isso ocorre porque os cafés naturais possuem maiores teores de açúcares e sólidos solúveis (KNOPP; BYTOF; SELMAR, 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003; RIBEIRO, 2013; VILELLA et al., 2002), contribuindo para o aumento na doçura do café e conseqüentemente o aumento do corpo da bebida.

A doçura da bebida é considerada um dos atributos do sabor mais desejável nos cafés especiais e participa de importantes reações químicas como a reação de Maillard, originando compostos responsáveis pela formação da cor, do sabor e do aroma peculiar da bebida (SALVA; LIMA, 2007). Portanto, maiores valores de açúcares totais parecem estar relacionados com maior qualidade dos grãos de café (BORÉM; REINATO, 2006; LOPES, 2000; RIBEIRO et al., 2003).

Alguns autores relatam um decréscimo dos açúcares durante o armazenamento (AFONSO JÚNIOR, 2001; CORADI et al., 2007; GODINHO et al., 2000; REINATO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011). Isso ocorre, pois o conteúdo de açúcares parece está diretamente relacionado com a atividade do sistema respiratório dos grãos durante o armazenamento. Espera-se que quanto maior a respiração dos grãos maior é o consumo de açúcares, causando sua redução durante o período de armazenamento e a deterioração do produto (AFONSO JÚNIOR, 2001). Contudo, esses resultados se contrapõem aos encontrados por Nobre et al. (2007), que constataram constante oscilação do

conteúdo de açúcares totais ao longo do armazenamento em grãos de café em pergaminho e beneficiados.

Com relação à acidez titulável total dos grãos crus, sua intensidade da acidez varia em função dos processos pós-colheita dos grãos (GODINHO et al., 2000; PIMENTA, 1995; SAATH et al., 2012).

Várias pesquisas têm demonstrado uma relação entre a acidez e a qualidade de bebida, sendo que no café beneficiado de qualidade inferior há aumento nos teores de acidez (CARVALHO et al., 1994; CHAGAS et al., 1997; LEITE, 1991). Valores crescentes de acidez foram constatados com o aumento do tempo de armazenamento (CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; SAATH et al., 2012), sendo que o tipo processamento do café influencia estes valores, com menores valores para o café despulpado ao longo do armazenamento (SAATH et al., 2012). Com relação ao armazenamento do café em coco ou beneficiado, o café armazenado sem beneficiar apresenta menores índices de acidez quando comparado ao beneficiado a partir do terceiro mês de armazenamento (GODINHO et al., 2000).

### **2.5.5 Aspectos físicos**

Durante o armazenamento alterações na cor dos grãos pode ocorrer mesmo em condições adequadas (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006), sendo que a tonalidade verde-azulada passa à marrom-clara e esbranquiçada, fenômeno este conhecido como branqueamento. Fatores como danos sofridos pelo produto, luz, umidade relativa, teor de água, tempo de armazenagem e tipo de embalagem devem ser considerados (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; BORÉM et al., 2013; CORADI; BORÉM, 2009; GODINHO et al., 2000; ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE, 2005).

A presença da casca e do pergaminho nos grãos de café armazenados em coco pode ter função protetora e pode prevenir variações na cor do produto quando comparado com o armazenamento do café já beneficiado (GODINHO et al., 2000; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008). Assim, grãos de café beneficiados independente do tipo de processamento empregado podem ser susceptíveis ao branqueamento durante o armazenamento em condições ambiente (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003), sendo observadas mudanças na coloração com redução, principalmente, da intensidade das cores verde e azul com o aumento do tempo de armazenamento.

Grãos de café processados por via úmida possuem naturalmente coloração verde-azulada, o que é caracterizado pela redução dos valores das coordenadas cromáticas  $a$  e  $b$ , distanciando da coloração indesejável vermelho-amarelo e aproximando da coloração desejável verde-azulada (CORRÊA et al., 2002). Além disso, grãos de café processados por via úmida apresentam menor variação na coloração quando comparados aos grãos obtidos por via seca, até os oito primeiros meses de armazenamento (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003).

Contudo, como o café processado por via úmida é mais susceptível à ocorrência de danos mecânicos, pode ocorrer aumento da coordenada  $L$ , a qual está associada à luminância do grão e indica maior branqueamento em comparação aos grãos processados por via seca (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003).

Além dos danos mecânicos causados durante o processamento, o beneficiamento também pode proporcionar este tipo de dano acelerando o processo de branqueamento de grãos de café. Esta condição provoca a redução na qualidade, o que é também caracterizado pela desestruturação de membranas celulares e desorganização celular (AMORIM, 1978; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

A correlação da cor dos grãos com a qualidade da bebida de cafés armazenados em diferentes condições é ressaltada por diversos autores (CORADI; BORÉM, 2009; RIGUEIRA et al., 2009; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000). Nesses trabalhos foi constatado que a temperatura e a umidade relativa do ar de armazenagem influenciam nas alterações da coloração dos grãos de café, sendo que estas alterações são reações frequentes em locais de alta temperatura e umidade relativa.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, S.A. et al. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 414-420, 2010.

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 373 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

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**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, dez. 2003.

AFONSO JÚNIOR, P. C. et al. Secagem, armazenamento e qualidade fisiológica de sementes do cafeeiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 9, p. 67-82, 2006. Edição Especial Café.

ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD ROOM.

ALVES, G. E. **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ASHRA, E. **Handbook: refrigeration systems and applications**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, Air-Conditioning Engineers, 1994. cap. 17, p. 9.

BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 14, n. 2, p. 93-107, May 2004.



BERJAK, P. Unifying perspectives of some mechanisms basic to desiccation tolerance across life forms. **Seed Science Research**, Wallingford, v.16, p.115, 2006.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, London, v. 91, n. 2, p. 179-194, Jan. 2003.

BORÉM, F. M. Armazenamento do café. In: BORÉM, F. M. et al. (Ed.). **Armazenamento do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p. Edição Especial Café.

BORÉM, F. M. et al. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1724-1729, nov./dez. 2008.

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

BRACKETT, R. E. Microbiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, Trumbull, v. 10, n. 3, p. 195-206, 1987.

BRANDÃO JUNIOR, D. S.; CARVALHO, M. L. M.; VIEIRA, M. G. G. C. Variações eletroforética de proteínas e isoenzimas relativas à deterioração de sementes de milho envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 114-121, 1999.

BRANDÃO JÚNIOR, D. S. et al. Uso de padrões eletroforéticos na identificação de cultivares e do nível de deterioração de sementes de *Coffea arabica* L. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: UFPR/IAPAR/IRD, 1999. p. 161-164.

BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; VIEIRA, M. G. G. C.; HILHOST, H. W.  
Aquisição da tolerância à dessecação nos diferentes estádios de desenvolvimento de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 673-681, 2002.

BRASIL. Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, p. 22-29, jun. 2003. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras de Análises de Sementes**. Brasília, 2009. 147 p.

BRAZILIAN SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. 2013. Disponível em: <<http://www.bsca.com.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

BRECHT, J. K. et al. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 87-101, 2003.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2005. 1367 p.

BYTOF, G. et al. Influence of processing on the generation of  $\gamma$ -aminobutyric acid in green beans. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 220, n. 3/4, p. 245-250, Mar. 2005.

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

CARVALHO, D. et al. Eletroforese de proteínas e isoenzimas em sementes de *copaifera langsdorffii* desf. (leguminosae caesalpinioideae) envelhecidas artificialmente. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 19-24, 2006.

CARVALHO, J. C. T.; GOSMANN, G. SCHENKEL, E. P. Compostos fenólicos simples e heterosídicos. In: SIMÕES, C. M. O. et al. (Org.). **Farmacognosia da planta ao medicamento**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. p. 443-459.

CARVALHO, V. D. et al. Relação entre a composição físico-química dos grãos de café beneficiado e a qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 445-449, mar. 1994.

CHAGAS, S. J. R. et al. Análise da qualidade da bebida do café pelo método químico e pela “prova de xícara”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. **Resumos...** Rio de Janeiro: SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1997. p. 171-174.

CHAGAS, S. J. 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**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 590-597, 2005.

CLÉVES, S. R. **Tecnologia em beneficiado de café**. San José: Tecnicafé Internacional, 1998.

COELHO, K. F.; PEREIRA, R. G. F. A.; VILELA, E. R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 22-27, 2001. Especial café.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M.B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. Kluwer Massachusets: Academic, 2001. p. 165-192.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M. Alterações dos parâmetros físico químicos na qualidade de bebida do café natural e despolpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 11, p. 54-63, 2009. Edição Especial Café.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

CORADI, P. C. et al. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despolpado. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, jan./jun. 2007.

CORRÊA, P. C. et al. Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 5, p. 22-27, 2002. Edição Especial Café.

CORRÊA, P. C. et al. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento em condições diversas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 7, p. 137-147, 2003. Especial Café.

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

DUSSERT, S. et al. Oxidative stress, phospholipids loss lipid hydrolysis during and storage of termediate seeds. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 127, n. 2, p. 192-204, June 2006.

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

FARIA, M. A. V. R. et al. **Marcadores moleculares da qualidade fisiológica de sementes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 63 p.

FAVARIN, J. L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos à diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev. 2004.

GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição Especial.

GRATÃO, P. L. et al. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, Melbourne, n. 32, p. 481-494, 2005.

HARDENBURG, R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. **The commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks**. Washington: USDA, 1986. 130 p. (USDA Agriculture Handbook, 66).

HENNING, F.A. et al. Qualidade fisiológica, sanitária e análise de isoenzimas de sementes de aveia-preta tratadas com diferentes fungicidas. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 63-69, 2009.

HUXLEY, P. A. Investigation on the maintenance of viability of robusta coffee seed in storage. **Proceedings International Seed Testing Association**, Vollebakk, v. 29, p. 423-444, 1964.

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

INFORME ESTATÍSTICO DO CAFÉ. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

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

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **Handbook of variety testing**: electrophoresis testing. Zürich, 1992.

ISMAIL, I.; ANUAR, M.S.; SHAMSUDIN, R. Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage. **International Food Research Journal**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 255–264, 2013.

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

KRZYZANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 15-50, mar. 1991.

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**.1991. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

LIVRAMENTO, K.G. **Proteômica diferencial de café arábica submetido a diferentes processamentos e secagem**. 2008. 67 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

LOPES, L. M. V. Avaliação da qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, p. 3-8, 2000. Especial 1.

LOPES, R. P. et al. Efeito da luz na qualidade (cor e bebida) de grãos de café beneficiados (*Coffea arábica* L.) durante a armazenagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, p. 9-17, 2000. Edição especial.

MALGARIM, M. B.; CANTILLANO, R. F. F.; TREPTOW, R. O. Armazenamento refrigerado de laranjas cv. *Navelina* em diferentes concentrações de cera à base de carnaúba. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 99-105, 2007.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R.; OLIVEIRA, W. M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 6, p. 37-41, 2003. Especial café.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21, n. 5, p. 431-440, 2013.

MALTA, M.R.; PEREIRA, G. F. A.; CHAGAS, S. J. R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudado de grãos de café: Alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 5, p. 1015-1020, 2005.

MARQUES, E. R. et al. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes períodos de temperatura e pré-secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, set./out. 2008.

MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, 1999.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

OLIVEIRA, P. D. **Aspectos ultraestruturais e fisiológicos associados à qualidade da bebida de café arábica submetido a diferentes métodos de processamento e secagem**. 2010. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

OLIVEIRA, P. D. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 211-220, abr./jun. 2013.

PEREIRA, A. **Avaliação das atividades cicatrizante e antitumoral de extratos provenientes da casca de banana cultivar Prata Anã (*Musa spp*)**. 2010. 156 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PEREIRA, C. C. **Aspectos fisiológicos, bioquímicos e sensoriais de grãos de café armazenados em temperatura ambiente e em ar resfriado**. 2014. 54 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PIMENTA, C. J. et al. Composição química e avaliação da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) colhido em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 10, p. 29-35, 2008. Especial Café.

PIMENTA, C. J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação**. Lavras: UFLA, 1995. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

PIMENTA, C.J.; VILELA, E.R. Efeito do tipo e época de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, p. 131-136, 2003.

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 p. Thesis (PhD) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

PUNTARULO, S. et al. Superoxide anion and hydrogen peroxide metabolism in soybean embryonic axes during germination. **Biochimica Et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1074, n. 2, p. 277-283, July 1991.

QUIRINO, J. R. et al. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p.378-386, 2013.

REINATO, C. H. R. et al. Influência da secagem, em diferentes tipos de terreiro, sobre a qualidade do café ao longo do armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 48-60, jan./jun. 2007.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, London, v. 147, p. 279- 286, 2013.

RIBEIRO, D. E. **Interação genótipo e ambiente na composição química e qualidade sensorial de cafés especiais em diferentes formas de processamento.** 62 p. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, 47, 341-348, 2011.

RIGUEIRA, R. J. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

ROSA, S. D. V. F. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café armazenados em ambiente resfriado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Resumos...** Salvador: Embrapa Café, 2013. 1 CD ROM.

ROSA, S. D. V. F. et al. Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas *lea* associadas à tolerância de sementes de milho à alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 91-101, 2005.

ROSA, S.D.V.F. et al. The effect of storage conditions on coffee seed and seedling quality. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 39, n. 1, p. 151-164, 2011.

SAATH, R. et al. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, Feb. 2014.

SAATH, R. et al. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica*L.) nos processos pós colheita. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 96-112, 2012.

SAATH, R. **Qualidade do café natural e despulpado em diferentes condições de secagem e tempos de armazenamento**. 2010. 246 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2010.

SALVA, T. J. G.; LIMA, V. B. A composição química do café e as características da bebida e do grão. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 57-59, 2007.

SANTANA, M.T.A. et al. Caracterização físico-química e enzimática de uva “patricia” cultivada na região de Primavera do Leste – MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 186-190, 2008.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 27, n. 1, p. 104-114, 2005.

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

SCHEIDIG, C.; SCHIEBERLE, P. Einfluss der Lagerung von Rohkaffee auf das aroma von Rohkaffee, Röstkaffee und Kaffeegetränk. **Lebensmittelchemie**, Weinheim, v. 60, p. 55-56, 2006.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica* L.): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, n. 1, p. 31-38, 2008.

SELMAR, D. et al. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffees are interconnected with an active seed metabolism. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 20., Bangalore, 2005. **Proceedings...** Paris: ASIC, 2005. p. 111-119.

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

SILVA, A. V. C. et al. Uso de embalagens e refrigeração na conservação de azeitona. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 300-304, abr./jun. 2009.

SILVA, R. P. G. et al. Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* L.) armazenados em coco, com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 3, p. 3-10, 2001. Especial Café 3.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1413-1554, out. 2012.

TOSTA, M. F. **Caracterização fisiológica, bioquímica e sensorial de cafés naturais e desmucilados, produzidos em diferentes altitudes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VEIGA, A. D. et al. Armazenabilidade de sementes de café colhidas em diferentes estádio de maturação e submetidas a diferentes métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 83-91, jan/fev. 2007.

VEIGA, A. D. et al. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 953-960, jul./ago. 2010.

VIDIGAL, D. S. et al. Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 129-136, 2009.

VIEIRA, M. G. C. G. **Utilização de marcadores moleculares no monitoramento da qualidade sanitária e nível de deterioração de sementes de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**. 127 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. de Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição Especial.

VILELA, T. C. et al. Composição química de grãos de café natural, despulpado, desmucilado e descascado: torração média. In: Simpósio de pesquisa cafeeira do Sul de Minas, 3., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 43-48.

ZHANG, M. et al. A mechanism of seed deterioration in relation to volatile compounds evoked by dry seeds themselves. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 1, p. 49-56, 1994.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**ARTIGO 1**

**ASPECTOS SENSORIAIS, FISIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE GRÃOS  
DE CAFÉ DURANTE O ARMAZENAMENTO REFRIGERADO**

## RESUMO

O armazenamento é uma etapa importante da pós-colheita do café, sendo que um dos principais objetivos é a manutenção da qualidade. Contudo, as condições de armazenagem podem promover alterações nos grãos de café, reduzindo a qualidade sensorial. Fatores como as condições do ar de armazenagem e a forma de acondicionamento dos grãos determinam a qualidade final do café para a comercialização e o consumo. Tendo em vista que a refrigeração do ar propicia a redução da deterioração de grãos de diversas espécies, objetivou-se investigar o efeito do ar refrigerado e do beneficiamento sobre a qualidade sensorial, química e fisiológica de grãos de café natural e despulpado. Cafés colhidos no estágio de maturação cereja foram secados até 11% de teor de água, após processamento por via seca (café natural, em coco) e via úmida (em pergaminho, despulpado). Para o armazenamento, parte dos cafés foi beneficiada e outra parte mantida sem beneficiamento. O armazenamento foi realizado em condições controladas de ar refrigerado (temperatura de 10 °C e umidade relativa de 50%) e em ambiente a 25 °C, sem controle da umidade relativa. Nos períodos de 0, 3, 6 e 12 meses, foram retiradas amostras para avaliação sensorial e testes de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez titulável total, açúcares totais, teste de germinação e de tetrazólio. Grãos de café armazenados sem beneficiamento têm maior potencial de conservação da qualidade inicial, indicando que a presença de partes do fruto, o pericarpo (casca) no café natural, bem como o endocarpo (pergaminho) no café despulpado, tem função protetora por determinado período. A redução da temperatura do ar de armazenagem favorece a manutenção da qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café armazenados, principalmente quando os grãos são armazenados intactos, sem beneficiamento.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Qualidade. Beneficiamento. Deterioração.

## 1 INTRODUÇÃO

A preservação da qualidade do café durante o armazenamento é condicionada por fatores como a qualidade inicial do produto, manejo pós-colheita, teor de água, temperatura e umidade relativa do ar ambiente, tempo e tipo de armazenamento, entre outros (BORÉM et al., 2013; CORADI et al., 2007; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; NOBRE et al., 2007; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009). Além disso, o próprio metabolismo dos frutos secos (em coco ou em pergaminho) ou do café beneficiado pode causar alterações fisiológicas, químicas e sensoriais (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; GODINHO et al., 2000; LOPES et al., 2000; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

Com relação ao tipo de armazenamento, a maior parte do café brasileiro é armazenada beneficiada no sistema convencional, em sacos de juta (permeáveis) e sem o controle da temperatura e sem refrigeração. Os grãos crus ficam acondicionados em embalagens permeáveis, o que permite a variação do teor de água dos grãos e interações com o ar ambiente, favorecendo a redução da qualidade inicial (BORÉM et al., 2013; NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011; RIGUEIRA et al., 2009).

Diante deste cenário, estudos sobre os efeitos destes fatores na conservação de grãos de café devem ser realizados, avaliando os diversos aspectos de qualidade, visando prolongar o período de armazenamento sem comprometer a qualidade final do café. Neste contexto, o armazenamento em ambiente refrigerado ganha destaque por ser uma técnica que reduz o processo de deterioração e mantém a qualidade inicial dos produtos agrícolas por um período maior (BRANDÃO JÚNIOR; VIEIRA; HILHOST, 2002; QUIRINO et al., 2013; RIGUEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2013).

Estudos têm comprovado que a redução da temperatura da massa de grãos, abaixo de 15 °C tem sido eficiente para minimizar a atividade da água, e conseqüentemente a atividade de fungos, insetos e pragas. A aplicação desta técnica tem sido fundamental para aumentar o período de armazenamento, reduzindo o avanço do processo de deterioração e conseqüentemente mantendo a qualidade do produto por período mais prolongado (SAATH et al., 2014; SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005).

Neste sentido, resultados preliminares têm demonstrado o efeito benéfico da refrigeração do ar de armazenamento na conservação da qualidade física e fisiológica de grãos de café (AFONSO JÚNIOR et al., 2006; RIGUEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2013). Rigueira et al.(2009) observaram menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, bem como a preservação e conservação das características qualitativas iniciais nos grãos de café armazenados em condição de 15 °C quando comparados aos grãos armazenados em temperatura de 25 °C. Rosa et al. (2013) constataram que a refrigeração do ar é um método eficiente para prolongar o período de conservação dos grãos de café e a preservação das características qualitativas iniciais. Este comportamento é conseqüência da menor deterioração dos grãos durante o período de armazenamento em condições de refrigeração.

A redução da temperatura também pode reduzir as alterações químicas nos grãos de café ao longo do armazenamento, que podem comprometer a qualidade sensorial do produto. Assim objetivou-se avaliar o efeito das condições de armazenamento na conservação da qualidade de grãos de café natural e despulpados e submetidos a diferentes métodos de beneficiamentos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se grãos de *Coffea arabica* L. cv Catuaí Amarelo, obtidos em campos de produção da Fazenda Experimental da Fundação Procafé, a 940 metros de altitude, em Varginha, MG. Os frutos de café foram colhidos no estágio de maturação cereja, por meio de colheita seletiva e conduzidos ao lavador mecânico para a separação de frutos chochos, mal formados, brocados e impurezas, antes de serem submetidos a dois diferentes tipos de processamentos. Parte dos frutos selecionados foi submetida imediatamente à secagem (café natural), e outra parte foi descascada e desmucilada por meio de fermentação em água (café despulpado) por 24 horas, antes da secagem.

Os cafés foram secados até a meia-seca em telas polietileno de 1,00 mm<sup>2</sup> de malha, montadas em suportes de madeira e dispostas de forma suspensa. Os cafés foram distribuídos uniformemente sobre as telas e revolvidos 12 vezes ao dia, durante o período de secagem até a meia-seca (natural 30% b.u. e despulpado 25% b.u.).

A partir da meia-seca, os cafés foram transferidos para secadores mecânicos de camada fixa. Durante a secagem, a temperatura da massa de grãos foi mantida em 35 °C e monitorada constantemente com termômetro de mercúrio inserido na massa de grãos, até que estes atingissem o teor de água de 11 % (base úmida).

Após a secagem, parte dos grãos foi submetida ao beneficiamento mecânico para a retirada do pericarpo no café natural e do endocarpo no café despulpado, e outra parte foi armazenada em coco (café natural) ou em pergaminho (café despulpado). O beneficiamento mecânico foi realizado em uma máquina similar às utilizadas pelos produtores e unidades beneficiadoras de café.

Os grãos de café foram acondicionados em sacos de polipropileno Jutex® e armazenados em dois ambientes diferentes, câmara fria (10 °C, 50% UR) e sala de armazenamento em temperatura constante de 25 °C sem o controle da umidade relativa. Após cada período de armazenamento os cafés foram submetidos à avaliação sensorial, fisiológica e química (0, 3, 6 e 12 meses). No momento de cada avaliação, os cafés armazenados sem beneficiar foram beneficiados manualmente, para evitar danos mecânicos.

## **Avaliações**

### **Determinação do teor de água**

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado pelo método de estufa, a  $105\pm 1^\circ\text{C}$ , por  $16\pm 0,5$  horas, conforme o método padrão da ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1999).

### **Análises sensoriais**

A análise sensorial foi realizada por Juízes Certificados pela SCAA com a utilização do protocolo da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011), para avaliação sensorial de cafés especiais. Nesta metodologia há a atribuição de notas para fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, sabor residual, doçura, uniformidade, xícara limpa, balanço e impressão global.

A torra, moderadamente leve foi realizada em 100g de grãos de café peneira 16 acima, monitorando-se a temperatura para que o tempo de torração não fosse inferior a 8 minutos ou superior a 12 minutos. Para padronizar a torra, evitando que esta influenciasse a avaliação dos juízes, armazenou-se um padrão de torra da primeira época que era recorrido durante a torra em cada época de

avaliação. Todas as amostras foram torradas com antecedência mínima de 12 horas à degustação. Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

Em cada período de avaliação do armazenamento, amostras torradas dos melhores cafés de cada processamento foram acondicionadas em tubos falcons e armazenadas em *deep freezer* (-80 °C). Nestas condições, o café tem seu metabolismo reduzido e as alterações no sabor e aroma são mínimos. Essas amostras foram degustadas nos momentos das avaliações seguintes, para que os degustadores resgassem a experiência sensorial das degustações referentes ao período anterior de armazenamento.

#### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada (MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005). Foram utilizados 50 grãos de cada amostra, pesados com precisão de 0,001g e imersos em 75 ml de água destilada no interior de copos plásticos de 180 mL de capacidade. Os recipientes permaneceram em estufa regulada a 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução de embebição, em aparelho Digimed CD-20. Com os dados obtidos, calculou-se a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de grãos.

#### **Lixiviação de potássio**

A lixiviação de íons de potássio foi determinada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Nas soluções do teste de condutividade elétrica, mediu-se a quantidade de potássio lixiviado, sendo a leitura realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002. Com os dados obtidos, calculou-se a quantidade de potássio lixiviado, expressando-se o resultado em ppm.

**Acidez titulável total**

A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1N, adaptando-se à metodologia da Association of Official Analytical Chemists - AOAC (1990). Foram pesados dois gramas de café macerado e adicionados 50 ml de água destilada, agitando-se por uma hora. Em seguida, foi realizada a filtração em papel de filtro e 5 ml da solução filtrada foi misturada em erlenmeyer, com cerca de 50 ml de água destilada. Acrescentou-se três gotas de fenolftaleína e, em seguida, realizou-se a titulação até a viragem com NaOH 0,1N. O resultado foi expresso em ml de NaOH 0,1N, por 100g de amostra.

**Açúcares totais**

Utilizou-se o método da Antrona (DISCHE, 1962). Os açúcares totais foram quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda de 620nm, utilizando uma curva padrão de frutose (100mg/mL) de intervalo 0-100mg.

**Atividade da polifenoloxidase**

Para extração da polifenoloxidase foi feita uma adaptação do processo descrito por Draetta e Lima (1976). Foram pesados cinco gramas da amostra macerada de grãos em nitrogênio líquido, aos quais foram adicionados 40mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1M, pH 6,0. Em seguida, submeteu-se a amostra a um agitador magnético por cinco minutos. Todo o material utilizado foi mantido gelado. Após a agitação, foi feita a filtração em filtro a vácuo, utilizando-se papel Whatman nº1. A polifenoloxidase foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem o DOPA, como branco. A atividade enzimática foi expressa em  $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{massa seca}$ .

### **Teste de Germinação**

Para o teste de germinação utilizou-se quatro repetições de 25 grãos sem os pergaminhos em folhas de papel tipo Germitest, umedecidas com água em quantidade igual a 2,5 vezes o peso do papel seco. Os grãos foram mantidos em germinador, regulado à temperatura de 30 °C. A porcentagem de plântulas normais foi avaliada após 30 dias da montagem do teste, segundo as prescrições das RAS (BRASIL, 2009). Ao longo do teste também foram avaliadas as plântulas normais e a protrusão radicular aos 15 dias, as plântulas normais fracas e fortes aos 30 dias, as plântulas com folhas cotiledonares expandidas e matéria seca de plântulas aos 45 dias.

### **Teste de Tetrazólio**

Realizou-se o teste de tetrazólio com quatro repetições de 25 grãos sem pergaminhos colocados em recipientes contendo água destilada para embebição por período de 48 horas, a 30 °C (CLEMENTE; CARVALHO; GUIMARÃES, 2012). Após esse período foram removidos os embriões dos grãos com o auxílio de um bisturi, evitando-se danos aos mesmos. Os embriões foram corados em solução de tetrazólio a 0,5% na ausência de luz por período de 3 horas, a 30 °C. Após avaliação da viabilidade, os resultados foram expressos em porcentagem de grãos viáveis.

### **Estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância para cada processamento (natural e despolpado) e beneficiamento (beneficiado ou não) em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições e em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas condições de armazenamento (10 °C e 50% de UR; e 25 °C) e quatro períodos de armazenamento (zero, três, seis e doze

meses). Os dados foram submetidos à análise de regressão com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 encontram-se os teores de água dos grãos de café processados por via úmida e via seca, ao longo do armazenamento. Observa-se que o conteúdo de água dos grãos reduziu durante o armazenamento.

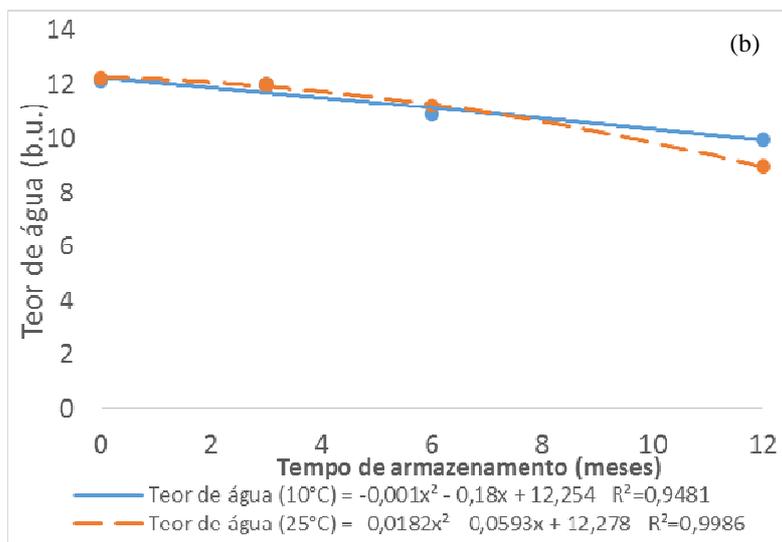
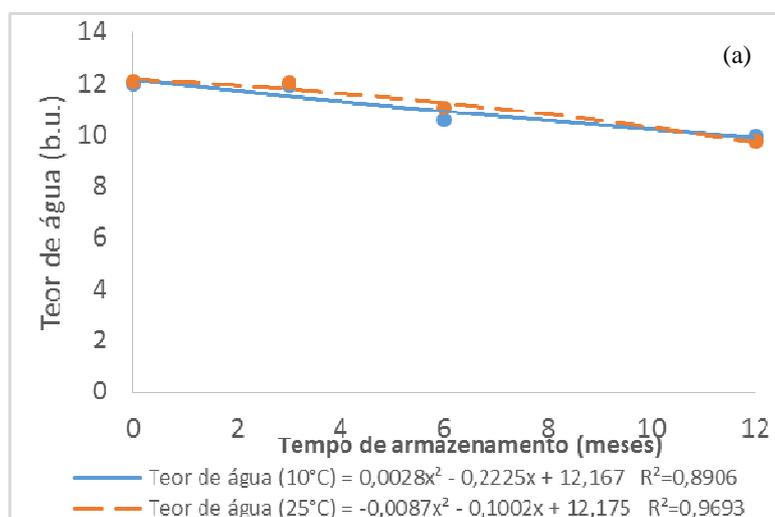


Figura 1 Teores de água (% b.u.) do café despolpado e armazenado beneficiado (a) e em pergaminho (b), durante o armazenamento

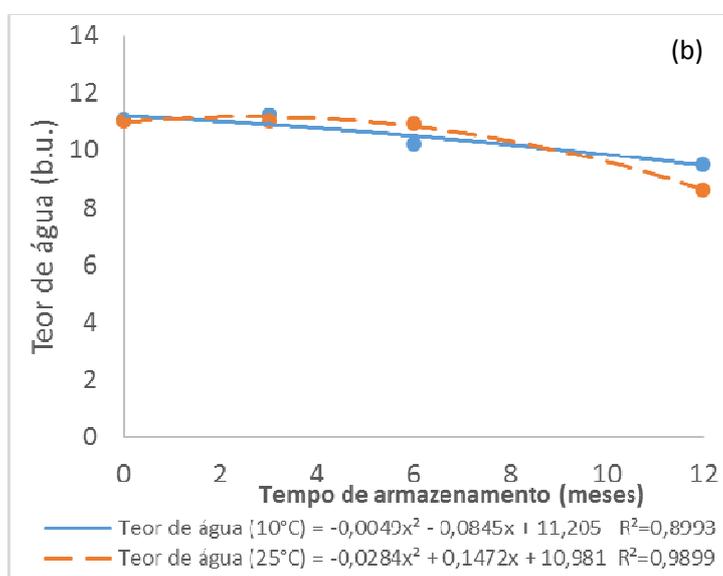
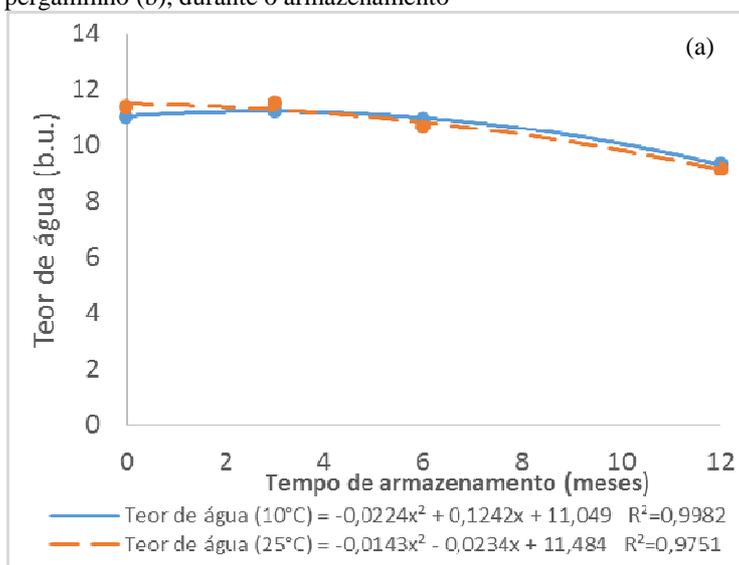


Figura 2 Teores de água (% b.u.) do café natural, armazenado beneficiado (a) e em coco (b) durante o armazenamento

Isso ocorre devido à característica de higroscópicidade dos grãos, ou seja, sofrem alterações no teor de água de acordo com a temperatura e umidade relativa do ambiente. Assim, se armazenados em embalagens permeáveis, como é o caso dos grãos armazenados nesta pesquisa, haverá interação dos grãos com o ambiente de armazenagem. Estes resultados também foram notados em outras pesquisas, que observaram que no armazenamento em embalagens permeáveis os grãos de café têm seu conteúdo de água alterado (NOBRE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2011).

Pode-se observar que, para os cafés armazenados sem beneficiamento, a temperatura de armazenamento de 25 °C favoreceu a redução do teor de água dos grãos, em maior intensidade que nos grãos armazenados em ambiente resfriado (10°C e UR 50%), a partir de 10 meses. Isso pode ter ocorrido devido à ausência de controle da umidade relativa do ambiente de 25 °C, e às baixas ocorrências de umidade relativa ambiente registrada no local do experimento, nos meses do ano correspondentes ao período de armazenamento (julho, agosto e setembro). Este fato pode ter contribuído, também, para a maior redução no teor de água dos grãos armazenados nestas condições.

Pelos resultados das análises sensoriais (Figuras 3 e 4) observa-se redução da qualidade da bebida ao longo do armazenamento dos grãos de café submetidos aos diferentes processamentos e em ambas as condições de armazenamento. Contudo, o armazenamento refrigerado permitiu menor redução da qualidade sensorial dos grãos.

De acordo com a avaliação sensorial proposta pela *Specialty Coffee Association of America* (SCAA), os cafés que apresentam notas nos intervalos de 80 a 84 pontos são classificados como especiais (muito bons). Cafés com notas entre 75 e 79 pontos, embora possuam boa qualidade, são classificados como cafés de qualidade boa normal (bons), não especiais. Já cafés com notas entre 70 a 75 pontos possuem qualidade média (fraco) (LINGLE, 2011).

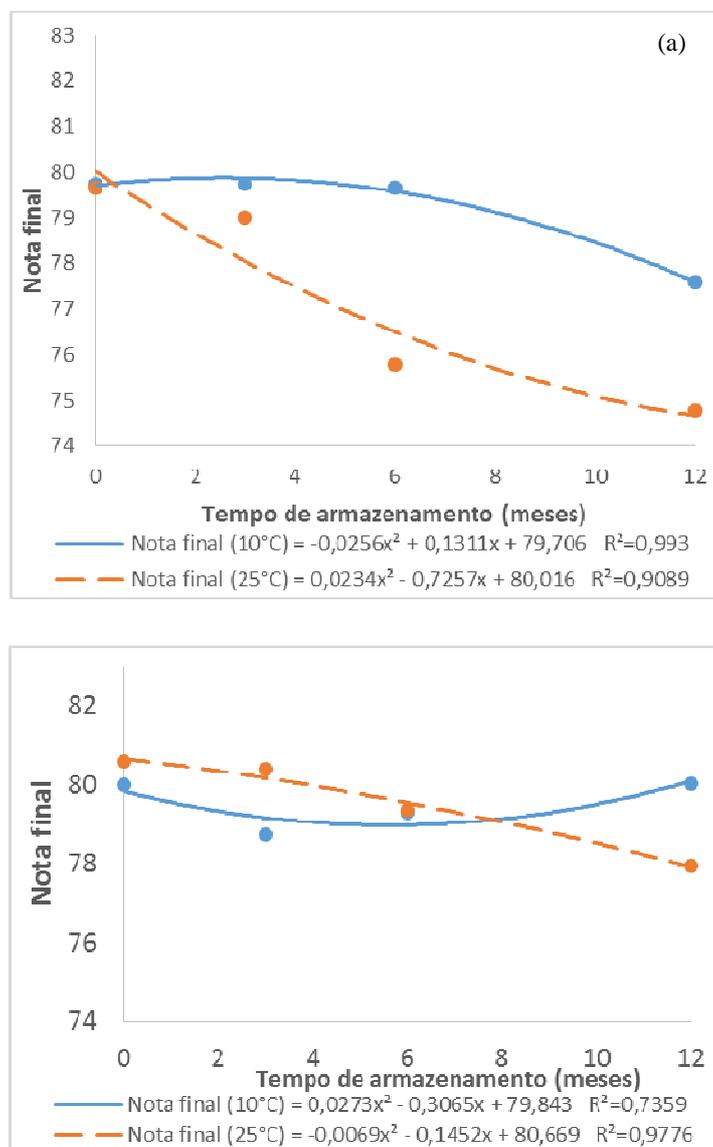


Figura 3 Análise sensorial do café despulpado, armazenado beneficiado (a) e em pergaminho (b) durante o armazenamento

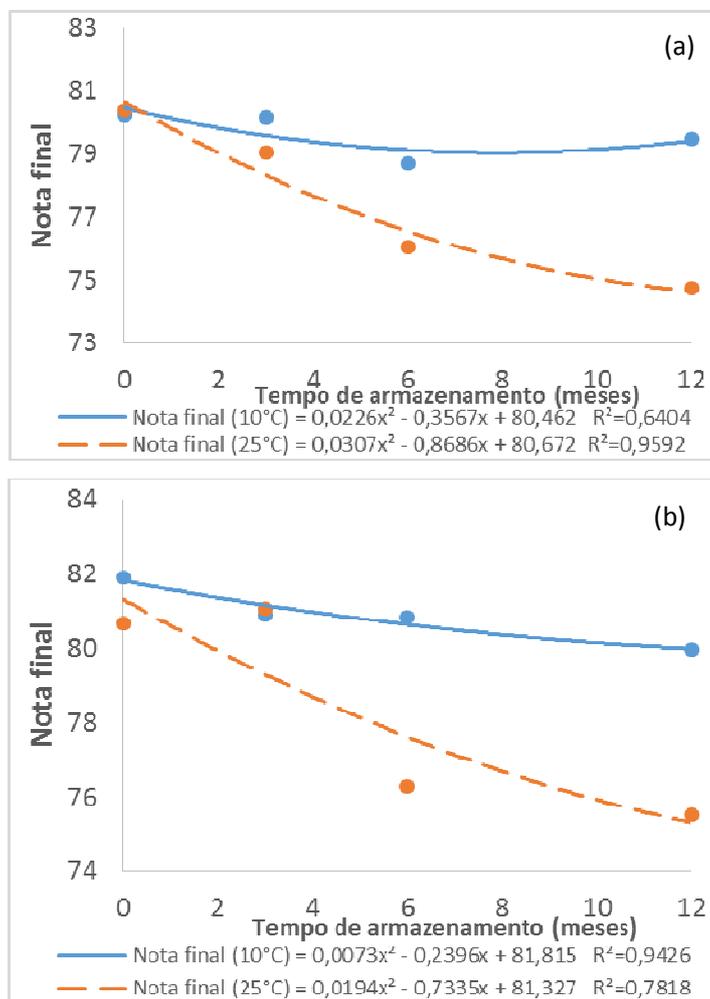


Figura 4 Análise sensorial do café natural, armazenado beneficiado (a) e em coco (b) durante o armazenamento

Para o café despulpado (Figura 3), observa-se que os grãos armazenados beneficiados são mais sensíveis aos efeitos das duas condições de armazenamento ao do período, com maiores reduções na nota final obtida na análise sensorial. Grãos armazenados beneficiados em temperatura de 25 °C tiveram uma redução da nota final de 79,66 para 74,79 pontos, no período de 12 meses, com descrição sensorial de papel, papelão e palha. A redução da

qualidade inicial dos grãos de café armazenados em condições de temperatura refrigerada (10 °C; UR 50%) foi menor quando comparada aos grãos armazenados na temperatura de 25 °C, com notas iniciais de 79,66 a 77,79 pontos ao final dos 12 meses, com descrição sensorial de caramelo, papel, óleo e metálico.

A redução de temperatura do ambiente de armazenagem tende a manter a classificação dos grãos de café armazenados em pergaminho em especial no período de pelo menos 8 meses, com notas doce e caramelo. Em contrapartida, o ambiente com temperatura de 25 °C não evitou a redução da qualidade sensorial, com notas que passaram de 80,58 a 77,96 pontos ao final dos 12 meses de armazenamento, com descrição sensorial de papel, leve velho e palha. Estes cafés que eram classificados como especiais antes do armazenamento foram classificados como cafés de qualidade boa normal, após 12 meses de armazenamento.

Com relação aos cafés obtidos pelo processamento via seca (café natural), nota-se que a redução da temperatura do ar de armazenagem é benéfica para a manutenção da qualidade sensorial dos grãos armazenados beneficiados ou em coco, apesar de não ter sustentado a classificação dos cafés do início ao término do período de armazenamento (Figura 4). Quando o café natural foi armazenado beneficiado em ambiente refrigerado houve redução da qualidade sensorial de 80,25 para 79,5 pontos do início ao término do armazenamento, passando de cafés especiais para cafés de qualidade boa normal, com descrição sensorial de doce, frutado, herbáceo e doce. Já nos grãos beneficiados e armazenados em ambiente com temperatura de 25 °C houve redução de 80,41 para 74,75, sendo que os grãos passaram da classificação de especiais para qualidade média (fraco), com descrição sensorial de óleo, velho, amargo e madeira. Este resultado demonstra que em temperatura de 25 °C, os grãos de café

sofrem maiores efeitos do processo de deterioração do que em ambiente refrigerado.

Observam-se também efeitos benéficos da menor temperatura de armazenamento na manutenção da qualidade sensorial nos grãos armazenados em coco (natural não beneficiado), em que as notas finais do início ao término de armazenamento passaram de 81,91 (Especial) para 79,96 pontos (qualidade boa normal), com descrição sensorial de frutado, doce e óleo. Por outro lado, a temperatura de armazenamento de 25 °C propiciou maior queda na qualidade sensorial, com notas que passaram de 80,66 a 75,54 pontos, com descrição sensorial de óleo, velho e madeira. Contudo, a classificação dos cafés passou de especial para qualidade boa normal, assim como os cafés em coco armazenados em ambiente refrigerado. Esses resultados corroboram com os resultados de outros autores, os quais constataram que a refrigeração do ar de armazenamento é benéfica para a preservação da qualidade de grãos de café (RIGUEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2013).

Para os resultados de condutividade elétrica, não houve interação significativa entre os fatores estudados para os grãos de café armazenado sem beneficiamento. Contudo, para os grãos armazenados beneficiados, observou-se acréscimo nos valores nos dois processamentos (Figuras 5 e 6). Este aumento indica desorganização das membranas celulares, o que é observado nos dois processamentos em todos os cafés com o aumento do tempo de armazenamento. Estes resultados corroboram com diversas pesquisas, que têm detectado maiores valores na lixiviação de potássio e condutividade elétrica de grãos de café ao longo do armazenamento, sendo que maior deterioração das membranas celulares ocorre com o aumento do tempo de armazenagem (NOBRE et al., 2007; RIGUEIRA et al., 2009; RODRIGUES, 2009; SAATH et al., 2012; SILVA et al., 2001).

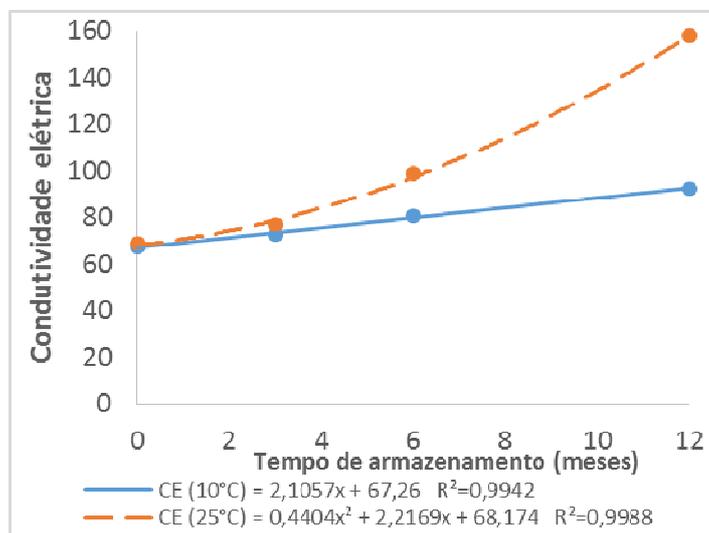


Figura 5 Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) do café despulpado beneficiado, armazenado em diferentes condições

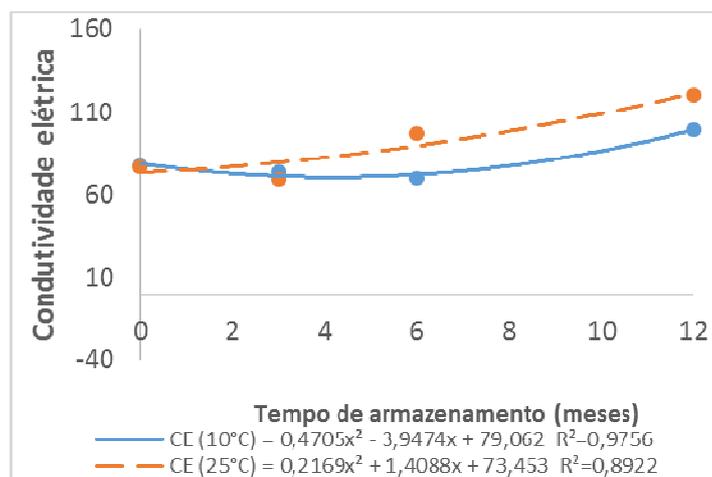


Figura 6 Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) do café natural beneficiado, armazenado em diferentes condições

Para os cafés despulpados, ressalta-se o efeito da temperatura de armazenamento nos grãos armazenados beneficiados, mostrando que a refrigeração do ar de armazenagem garantiu menores valores de condutividade elétrica ao longo do armazenamento, com valores iniciais de  $67,59 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  e

finais de  $92,34 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (aumento de  $24,75 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Já os cafés despulpados beneficiados e armazenados a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , apresentaram valores que variaram  $89,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ , passando de  $68,66 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  no início do armazenamento para  $157,96 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  ao término dos 12 meses.

Para o café natural armazenado beneficiado, também foi possível observar o efeito benéfico da redução da temperatura ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; UR 50%) no armazenamento. Os valores de condutividade elétrica nos grãos armazenados em baixa temperatura foram de  $78,04 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  à  $99,78 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (aumento de  $21,74 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  ao longo do armazenamento). Já na temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  os valores passaram de  $77,14 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  à  $120,37 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (aumento de  $43,23 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  ao longo do armazenamento).

A desorganização celular detectada com maiores valores no teste de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, é acompanhada por uma perda de controle da permeabilidade e pelo extravasamento de solutos. Esta situação promove reações oxidativas ou reações catalíticas, resultando em produtos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial do café (BORÉM et al., 2008; CORADI et al., 2007; MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005). Apesar de outros trabalhos detectarem alterações nos valores de lixiviação de potássio dos grãos ao longo do armazenamento (COELHO; PEREIRA; VILELA, 2001; NOBRE et al., 2007; RIGUEIRA et al., 2009; SILVA et al., 2001), nesta pesquisa não houve diferenças significativas em função dos tratamentos aplicados.

A respeito da análise química de acidez titulável total, observa-se que a interação foi significativa apenas para o café natural armazenado em coco (Figura 7). Nota-se que ao longo do armazenamento houve crescente aumento dos valores de acidez nos cafés armazenados em temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esses resultados concordam com outras pesquisas, que relatam maiores valores de acidez titulável total em grão de café de pior qualidade (CARVALHO et al., 2005; NOBRE et al., 2011), como é o caso dos grãos armazenados em

temperatura de 25 °C nesta pesquisa, evidenciado pela menor qualidade sensorial dos grãos (Figuras 3 e 4).

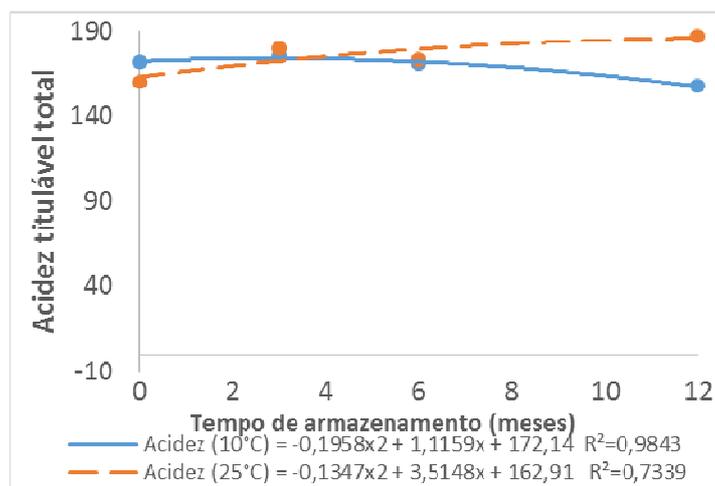


Figura 7 Acidez titulável total (ml NaOH 0,1 M.100g<sup>-1</sup> de amostra) do café natural armazenado em coco, em diferentes condições

Não houve interação significativa entre os fatores estudados para a quantidade de açúcares totais e a atividade da enzima polifenoloxidase nos grãos de café armazenados em diferentes condições. Apesar de relatos do decréscimo dos açúcares totais no café durante o armazenamento Afonso Júnior (2001), Godinho et al. (2000), Nobre et al. (2007), Reinato et al. (2007) e Ribeiro et al. (2011) constataram constante oscilação do conteúdo de açúcares totais ao longo do armazenamento em grãos de café em pergaminho e beneficiados, assim como os resultados encontrados neste trabalho. No que diz respeito a atividade da polifenoloxidase, há relatos da redução da atividade da enzima com o aumento da temperatura e do tempo de armazenamento (CORRÊA et al., 2003). Contudo, neste trabalho não foram detectadas alterações na atividade enzimática da polifenoloxidase.

A respeito das análises fisiológicas não houve interação significativa entre os fatores estudados para germinação, plântulas normais fortes e massa seca de hipocótilo e radícula.

Nas Figuras 8 e 9 encontram-se os resultados fisiológicos de protrusão radicular dos grãos de café armazenados nas duas condições (10 e 25 °C) ao longo do período de 12 meses.

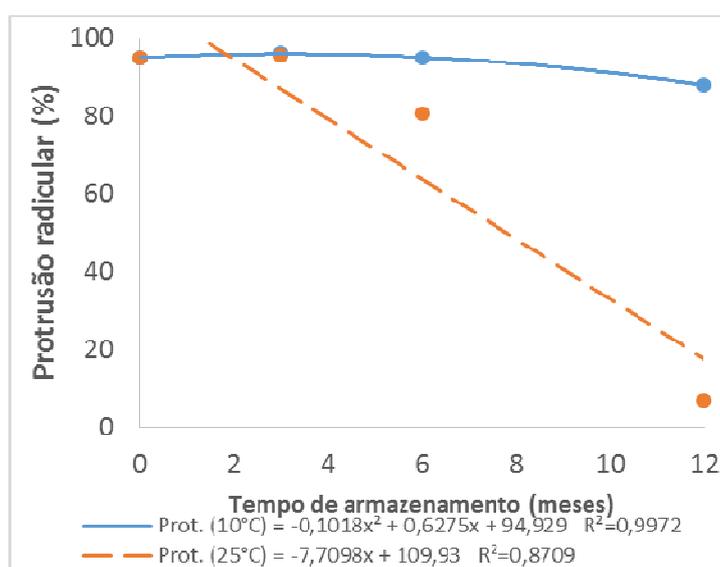


Figura 8 Protrusão radicular (%) do café despulpado em pergaminho armazenado em diferentes condições

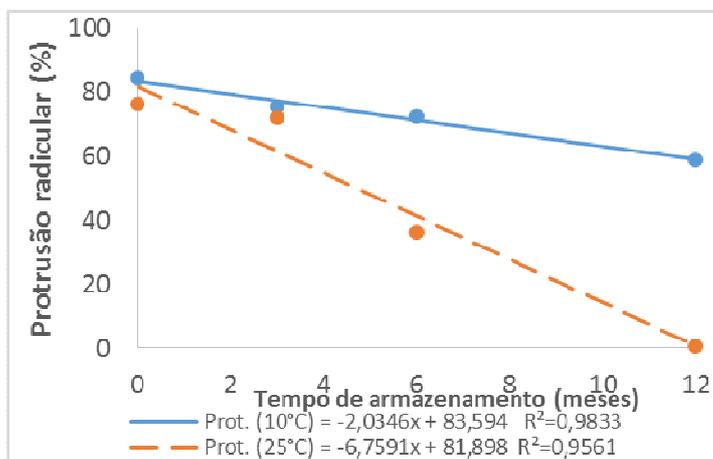


Figura 9 Protrusão radicular (%) do café natural em coco armazenado em diferentes condições

Nos dois tipos de processamentos, grãos de café beneficiados antes do armazenamento apresentaram valores de protrusão radicular baixos ou nulos ao longo do período de armazenamento, comparado ao café armazenado sem beneficiar (em coco ou pergaminho). Isso pode ter ocorrido devido ao dano mecânico causado pelo beneficiamento antes do armazenamento, resultando em lesões que levaram ao rápido declínio da qualidade fisiológica (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Em grãos de café armazenados sem beneficiar (em coco ou pergaminho) é possível observar efeito benéfico da redução da temperatura de armazenamento na porcentagem de protrusão radicular. Nos grãos armazenados em pergaminho com temperatura do ar reduzida houve a manutenção da qualidade fisiológica dos grãos, já que a porcentagem de protrusão radicular foi de 94,87% antes do armazenamento para 87,83% ao término dos 12 meses. Já o ambiente de armazenamento com temperatura de 25 °C prejudicou a qualidade fisiológica dos grãos, uma vez que os valores passaram de 95% no início do armazenamento para 6,83% ao término. Esta situação mostra que mesmo com a

proteção do pergaminho, a qualidade fisiológica dos grãos foi comprometida pela temperatura de armazenamento.

Nos grãos armazenados em coco, a temperatura refrigerada também se mostrou superior, mas com menor efeito. A porcentagem de protrusão radicular dos grãos em coco armazenados em condições de baixas temperaturas foi de 84,33% a 59,00%. Já nas condições de temperatura de 25 °C a porcentagem de protrusão foi de 76,5% a zero no período de 12 meses. Esta situação mostra que os cafés naturais possuem qualidade fisiológica inicial inferior aos cafés despulpados, reduzindo ainda mais ao longo do armazenamento.

Uma das hipóteses para este resultado é devido ao maior período de exposição ao ar de secagem que os grãos de café natural (secados no fruto) são submetidos quando comparados aos grãos processados por via úmida. O café natural possui maior conteúdo de água e maior resistência às trocas de energia e massa dentro dos grãos durante a secagem, promovendo uma tensão superior à suportada pela estrutura celular dos grãos. Esta situação expõe o embrião e o endosperma a danos térmicos mais severos, favorecendo a maior perda da integridade das membranas celulares (ALVES, 2013; SAATH et al., 2012, 2014; TAVEIRA et al., 2012). Outra hipótese que pode explicar a menor qualidade fisiológica do café natural é o maior período de tempo que este permanece exposto a um teor de água intermediário durante secagem. Esta situação pode ser crítica para a qualidade dos grãos, pois neste teor de água intermediário os grãos não possuem defesas para combater possíveis danos celulares. Contudo, pode haver outros fatores ainda não estudados, interferindo na redução da qualidade do café natural.

Pelos resultados da porcentagem de plântulas com folhas cotiledonares expandidas (Figura 10 e 11), não houve interações dos fatores tempo e temperatura de armazenamento para os grãos despulpados armazenados beneficiados e os valores foram próximos a zero nos cafés naturais armazenados

beneficiados. Contudo, para os grãos armazenados sem o beneficiamento, observa-se o efeito positivo da redução da temperatura de armazenamento.

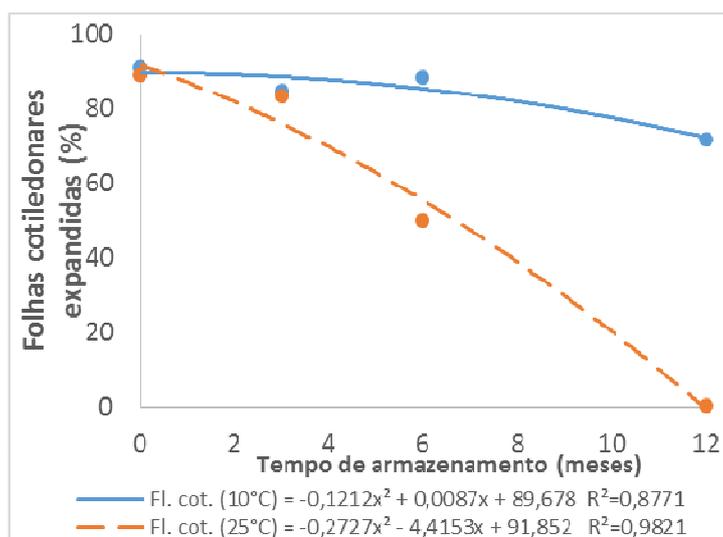


Figura 10 Plântulas com folhas cotiledonares expandidas (%) do café despolpado e armazenado em pergaminho, em diferentes condições

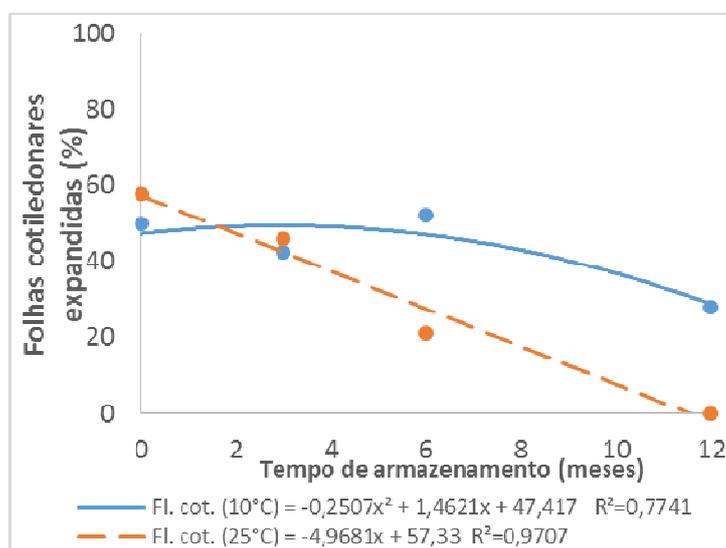


Figura 11 Plântulas com folhas cotiledonares expandidas (%) do café natural armazenado em coco, em diferentes condições

Os resultados encontrados para a porcentagem de plântulas com folhas cotiledonares expandidas foram similares à porcentagem de protrusão radicular, enfatizando o efeito negativo do beneficiamento antes do armazenamento e o efeito benéfico da redução da temperatura de armazenamento na qualidade fisiológica dos grãos não beneficiados. Sendo que, o café natural é mais sensível a condições de armazenamento.

Vários trabalhos têm relacionado a qualidade fisiológica de grãos de café com a qualidade sensorial (MALTA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013; SAATH et al., 2012; TOSTA, 2014), sendo que cafés com melhor qualidade fisiológica podem apresentar elevada qualidade sensorial. No presente trabalho foi observada maior qualidade fisiológica e maiores notas da análise sensorial em grãos armazenados em ambiente refrigerado (10 °C, UR 50%), corroborando com essas pesquisas.

O teste de tetrazólio, assim como o teste de germinação, também avalia a qualidade fisiológica dos grãos. Espera-se que lotes com maior porcentagem de grãos viáveis, possuam melhor qualidade fisiológica, e naturalmente, maiores notas na análise sensorial (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Como os valores de porcentagem de grãos viáveis nos cafés beneficiados antes do armazenamento foram baixos ou nulos, não houve interação entre os fatores tempo e temperatura de armazenamento. O efeito benéfico da temperatura é observado nos cafés armazenados em coco ou pergaminho (Figura 12). A redução da viabilidade dos grãos de café armazenado em temperatura de 25 °C foi linear em relação ao tempo de armazenamento. Por outro lado, a viabilidade média dos grãos de cafés armazenados em condições controladas de temperatura reduzida (10 °C; UR 50%) teve uma redução, porém numa proporção menor comparada aos grãos de café armazenados em condições que simulam a ambiente (25 °C).

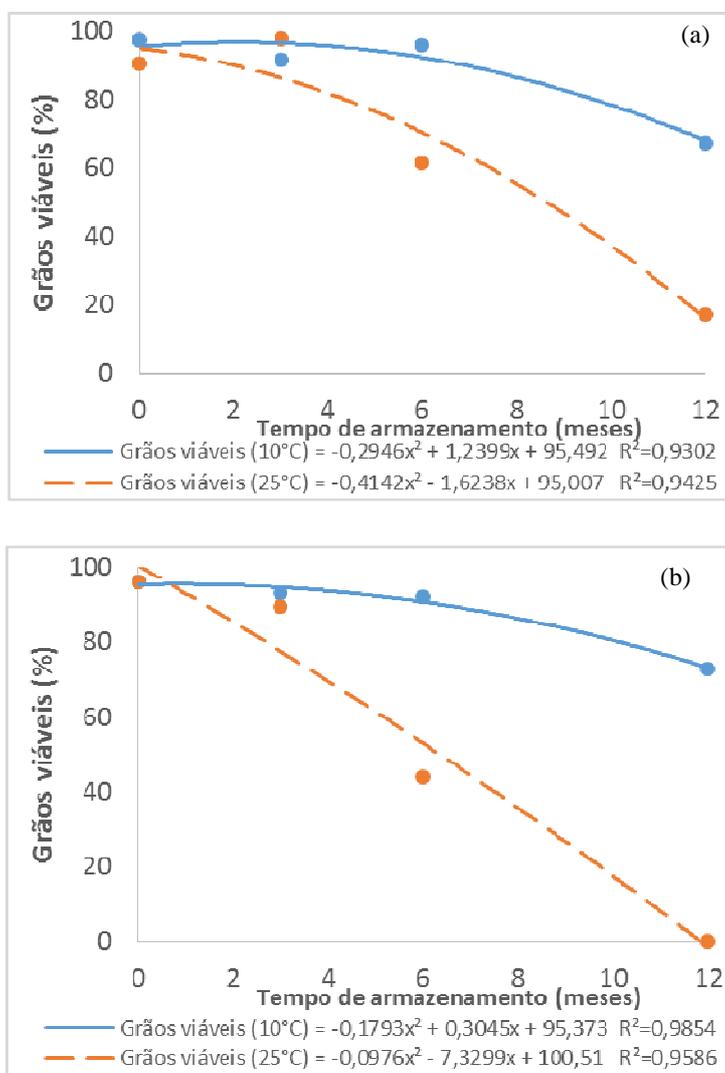


Figura 12 Viabilidade no teste de tetrazólio, de grãos de café em pergaminho (a) e em coco (b), armazenados em diferentes condições

Nas condições de armazenamento controlado (10 °C; UR de 50%) a viabilidade no teste de tetrazólio média dos grãos de café em pergaminho reduziu de 97,33% para 67,3%, registrando uma redução de 30% do início ao

término do armazenamento. Já nas condições de temperatura de 25 °C a viabilidade teve um decréscimo de 90,6% a 17,3% ao término do armazenamento, totalizando uma queda de 73,3%. Para o café em coco, no início do armazenamento, a porcentagem média de grãos viáveis nas condições de ambiente refrigerado era de 96% e ao término de 73%, tendo uma variação de 23%. Enquanto o armazenamento em condições ambiente (25 °C) obteve uma diferença de 96%, passado de 96% a zero no fim do período de 12 meses de armazenamento.

Os resultados fisiológicos indicam que o armazenamento de grãos de café em coco ou pergaminho (não beneficiado) pode favorecer a manutenção da qualidade fisiológica. Além disso, a redução da temperatura e controle da umidade relativa do ambiente de armazenagem é benéfica na conservação da qualidade fisiológica dos grãos.

Estes resultados se assimilam com a análise sensorial, em que grãos armazenados em condições de temperatura refrigerada (10 °C; UR de 50%) possuem qualidade sensorial superior aos grãos armazenados em temperatura ambiente (25 °C), confirmando resultados encontrados em outras pesquisas (MALTA et al., 2013; OLIVEIRA, 2010; SAATH et al., 2012;). Além disso, mostra a maior sensibilidade do café natural durante o armazenamento.

#### **4 CONCLUSÕES**

Durante o armazenamento ocorre redução da qualidade de grãos de café, sendo esta maior no café natural comparado ao despoldado.

A redução da temperatura de armazenamento a 10°C favorece a manutenção da qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café armazenados, principalmente em grãos armazenados sem o beneficiamento.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

À CAPES, FAPEMIG, CNPq, INCT-Café e Consórcio Pesquisa Café.

## REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento.** 2001. 373 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

AFONSO JÚNIOR, P. C. et al. Secagem, armazenamento e qualidade fisiológica de sementes do cafeeiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 9, p. 67-82, 2006. Edição Especial Café.

ALVES, G. E. **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar.** 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 15th ed. Washington, 1990.

BORÉM, F. M. Armazenamento do café. In: BORÉM, F. M. et al.(Ed.). **Armazenamento do café.** Lavras: UFLA, 2008. 631 p. Edição Especial Café.

BORÉM, F. M. et al. Avaliação sensorial do café cereja descascado, armazenado sob atmosfera artificial e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1724-1729, nov./dez. 2008.

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

BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; VIEIRA, M. G. G. C.; HILHOST, H. W. M. Aquisição da tolerância à dessecação nos diferentes estádios de desenvolvimento de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, p. 673-681, 2002.

CARVALHO, V. D. et al. Potencial da região sul de minas gerais para a produção de cafés especiais: atividade da polifenoloxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 590-597, maio/jun. 2005.

CLEMENTE, A. C. S.; CARVALHO, M. L. M.; GUIMARÃES, R. M. Suitability of the tetrazolium test methodology for recently harvested and stored coffee seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, p. 415-423, 2012.

COELHO, K. F.; PEREIRA, R. G. F. A.; VILELA, E. R. Qualidade do café beneficiado em função do tempo de armazenamento e de diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 22-27, 2001. Especial café.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

CORADI, P. C. et al. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despulpado. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, jan./jun. 2007.

CORRÊA, P. C. et al. Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 5, p. 22-27, 2002. Edição Especial Café.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA UFSCar, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição Especial.

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

LEITE, I. P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. 1991. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7th ed. Long Beach California: Specialty Coffee Association of America, 2011. p. 66.

LOPES, L. M. V. Avaliação da qualidade de grãos de diferentes cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 25, p. 3-8, 2000. Especial 1.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 21 n. 5, p. 431-440, 2013.

MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; CHAGAS, S. R. J. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudado de grãos de café: Alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 5, p. 1015-1020, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

NOBRE, G. W. et al. Composição química de frutos imaturos de café arábica (*Coffea arabica* l.). Processados por via seca e via úmida. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 107-113, maio/ago. 2011.



OLIVEIRA, P. D. **Aspectos ultraestruturais e fisiológicos associados à qualidade da bebida de café arábica submetido a diferentes métodos de processamento e secagem.** 2010. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

OLIVEIRA, P. D. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 211-220, abr./jun. 2013.

PONTING, J.D.; JOSLYNG, M.A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts. **Archives of Biochemistry**, New York, v. 19, p. 47-63, 1948.

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 p. Thesis (PhD) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992.

QUIRINO, J. R. et al. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 378-386, 2013.

REINATO, C. H. R. et al. Influência da secagem, em diferentes tipos de terreno, sobre a qualidade do café ao longo do armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 48-60, jan./jun. 2007.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, London, v. 147, p. 279- 286, 2013.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 47, p. 341-348, 2011.

RIGUEIRA, R. J. A. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

RODRIGUES, A. P. L. **Avaliação dos constituintes voláteis do café submetido a diferentes tratamentos pós-colheita pela análise de suas características físicas, químicas e sensoriais.** 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

ROSA, S. D. V. F. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café armazenados em ambiente resfriado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Brasília: CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ, 2013.

SAATH, R. et al. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. **Ciência eAgrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, Feb. 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000100002&script=sci_arttext)>. Acesso em: 23 dez. 2014.

SAATH, R. et al. Alterações na composição química e sensorial de café (*Coffea arabica*L.) nos processos pós colheita. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 96-112, 2012.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica* L.): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, n. 1, p. 31-38, 2008.

SILVA, R. P. G. et al. Qualidade de grãos de café (*Coffea arabica* l.) armazenados em coco, com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 3, p. 3-10, 2001. Especial Café 3.

TAVEIRA, J. H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1511-1517, out. 2012.

TOSTA, M. F. **Caracterização fisiológica, bioquímica e sensorial de cafés naturais e desmucilados, produzidos em diferentes altitudes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. de Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição Especial.

**ARTIGO 2**

**OTIMIZAÇÃO SIMULTÂNEA DE VARIÁVEIS APLICADAS AO  
ESTUDO DO ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE CAFÉ**

## RESUMO

Neste trabalho teve-se por objetivo aplicar a metodologia de delineamento de experimentos na otimização de variáveis relacionadas aos efeitos do ar refrigerado na conservação da qualidade de grãos de café. Com esse propósito, utilizou-se a técnica de otimização de resposta simultânea, uma abordagem possível de ser aplicada, uma vez que proporciona uma solução ótima da combinação de fatores, tempo e condições de armazenamento e que permite inferir sobre a qualidade de grãos de café. Neste contexto, propõe-se a otimização de variáveis sensoriais, fisiológicas e químicas do café natural e despulpado beneficiados ou não. Frutos de *Coffea arabica* foram colhidos no estágio de maturação cereja e processados por via úmida e por via seca. Em seguida os grãos foram secados até atingirem 11% de teor de água, sendo que parte foi beneficiada e outra parte foi mantida sem beneficiamento. O armazenamento foi realizado em condições controladas de ar refrigerado (temperatura de 10°C e umidade relativa de 50%) e em ambiente a 25°C, sem controle da umidade relativa. Nos períodos de 0, 3, 6 e 12 meses, foram retiradas amostras para avaliações de qualidade. Conclui-se que grãos de cafés despulpados beneficiados ou não podem ser armazenados por até seis meses em condições de 10°C, sem comprometer a qualidade fisiológica, química e sensorial. Grãos de café natural mantêm a qualidade por até um ano quando armazenados nos frutos e em temperaturas de 10°C. O beneficiamento mecânico de cafés naturais, realizado antes do armazenamento prejudica a conservação da qualidade por mais de três meses sob condições controladas de temperatura e de umidade relativa.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Avaliação da qualidade. Otimização de Resposta Simultânea.

## 1 INTRODUÇÃO

Os grãos de café são comercializados pela sua qualidade sensorial, que está intimamente relacionada com diversos compostos químicos presentes no endosperma (OOSTERVELD; VORAGEN; SCHOLS, 2003). Os fatores genéticos, ambientais e tecnológicos como o processamento e armazenamento impactam na formação de precursores do sabor e aroma, formados durante a torração (FARAH et al., 2006; MALTA; CHAGAS; OLIVEIRA, 2003).

Tradicionalmente, os grãos de café são armazenados, beneficiados e mantidos em locais sem o controle da temperatura e umidade relativa, podendo ter perdas na qualidade sensorial. A redução da qualidade sensorial ao longo do armazenamento pode ser explicada pelo processo oxidativo de proteínas e lipídeos que ocorre nos grãos e sementes, afetando a viabilidade (RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2013; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Decorrente a esse fato, a refrigeração da massa de grãos surge como alternativa para prolongar o período de armazenamento e garantir a qualidade sensorial dos grãos, uma vez que as condições de temperatura e umidade relativa do ar são importantes para condicionar a evolução do processo deteriorativo em grãos de café durante o armazenamento (SAATH et al., 2014; SANTOS, CHALFOUN; PIMENTA, 2009; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005).

Estudos têm comprovado que a redução da temperatura da massa de grãos, abaixo de 15 °C tem sido eficiente para garantir a conservação da qualidade dos produtos agrícolas, aumentando o período de armazenamento e diminuindo os processos de deterioração (AFONSO JÚNIOR et al., 2006; CORRÊA et al., 2003; QUIRINO et al., 2013; RIGUEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2013).

No entanto, entender como o fator temperatura, bem como o processamento, beneficiamento, dentre outros afetam a qualidade dos grãos e

consequentemente a qualidade sensorial é de fundamental importância para traçar estratégias para melhor conservação da qualidade de cafés durante o armazenamento. Porém, é difícil analisar o efeito individual ou em conjunto desses fatores com as técnicas estatísticas usualmente utilizadas, uma vez que cada variável poderá apresentar escalas e objetivos diferentes a serem considerados no procedimento de otimização.

Frente a esse problema, Carneiro et al. (2005) mencionam que o emprego da função de desejabilidade, utilizada na técnica de otimização de respostas simultâneas (DERRINGER; SUICHI, 1980) como uma alternativa atrativa por determinar a melhor combinação nos fatores estudados. Esta técnica considera a importância de cada variável frente a vários critérios intrínsecos as condições de operação e/ou restrições sobre as respostas.

Em virtude do que foi mencionado, neste trabalho teve-se por objetivo determinar a melhor combinação entre o tempo e as condições de armazenamento que otimizem a qualidade sensorial, fisiológica e química dos cafés naturais e despulpados beneficiados ou não, utilizando a técnica de otimização de respostas simultâneas, por permitir que características de qualidade com diferentes unidades sejam comparadas. Dessa forma, o ótimo global que satisfaça simultaneamente todas as respostas é obtido de forma mais precisa, sendo invariante a qualquer escala.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em grãos de *Coffea arabica* L. cv Catuaí Amarelo, obtidos em campos de produção da Fazenda Experimental da Fundação Procafé, a 940 metros de altitude, em Varginha, MG. Os frutos de café foram colhidos no estádio de maturação cereja, por meio de colheita seletiva e lavados para a separação de frutos chochos, mal formados, brocados e impurezas, antes de serem submetidos a dois diferentes tipos de processamentos. Parte dos frutos selecionados foi submetida imediatamente à secagem (café natural), e outra parte foi descascada e desmucilada por meio de fermentação em água (café despulpado) por 24 horas, antes da secagem.

Os cafés foram secados até a meia-seca em telas polietileno de 1,00 mm<sup>2</sup> de malha, montadas em suportes de madeira 1,00 m<sup>2</sup>, dispostas de forma suspensa. Os cafés foram distribuídos uniformemente sobre as telas e revolvidos 12 vezes ao dia, durante o período de secagem até a meia-seca (natural 30% b.u. e despulpado 25% b.u.).

A partir da meia-seca do café, os grãos foram transferidos para secadores mecânicos de camada fixa. Durante a secagem, a temperatura da massa de grãos foi mantida em 35 °C e monitorada constantemente com termômetro de mercúrio inserido na massa de grãos, até que estes atingissem o teor de água de 11 % (base úmida).

Após a secagem, parte dos grãos foi submetida ao beneficiamento mecânico e uma parte foi armazenada sem beneficiar. Em cada época de avaliação os cafés armazenados sem beneficiar, foram beneficiados manualmente, evitando causar danos aos grãos.

Os grãos de café foram acondicionados em sacos de polipropileno Jutex® e armazenados em dois ambientes diferentes, câmara fria (10 °C, 50%

UR) e sala de armazenamento a 25 °C sem o controle da umidade relativa. Após cada período de armazenamento os cafés foram submetidos à avaliação sensorial, avaliações fisiológicas e químicas (3, 6 e 12 meses).

### **Análises realizadas**

#### **Determinação do teor de água**

O teor de água dos grãos crus de café foi determinado pelo método de estufa, a  $105\pm 1^\circ\text{C}$ , por  $16\pm 0,5$  horas, conforme o método padrão da ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1999).

#### **Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada por Juízes Certificados pela SCAA com a utilização do protocolo da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011), para avaliação sensorial de cafés especiais.

A torra, moderadamente leve, foi realizada em 100g de grãos de café peneira 16 acima, monitorando-se a temperatura para que o tempo de torração não fosse inferior a 8 minutos ou superior a 12 minutos. Para padronizar a torra, evitando que esta influenciasse a avaliação dos juízes, armazenou-se um padrão de torra da primeira época que era recorrido durante a torra, em cada época de avaliação. Todas as amostras foram torradas com antecedência mínima de 12 horas à degustação. Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

Em cada período de avaliação do armazenamento, uma amostra torrada do melhor café de cada processamento foi acondicionada em tubos falcons e armazenada em *deep freezer* ( $-80^\circ\text{C}$ ). Nestas condições, o café tem seu

metabolismo reduzido e as alterações no sabor e aroma são mínimos. Essas amostras foram degustadas no período de avaliação seguinte, para que os degustadores resgasassem a experiência sensorial do período anterior de armazenamento.

### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada (MALTA; PEREIRA; CHAGAS, 2005). Com os dados obtidos calculou-se a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de grãos.

### **Lixiviação de potássio**

A lixiviação de íons de potássio foi realizada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Com os dados obtidos calculou-se a quantidade de potássio lixiviado, expressando-se o resultado em ppm.

### **Germinação**

Para o teste de germinação utilizou-se quatro repetições de 25 grãos sem o pergaminho foram colocadas para germinar em folhas de papel tipo Germitest, umedecidas com água em quantidade igual a 2,5 vezes o peso do papel seco. Os grãos foram mantidos em germinador, regulado à temperatura de 30 °C. A porcentagem de plântulas normais foi avaliada após 30 dias da montagem do teste, segundo as prescrições das RAS (BRASIL, 2009). Ao longo do teste de germinação também foi avaliada a quantidade de plântulas normais aos 15 dias, normais fracas e fortes aos 30 dias, plântulas com folhas cotiledonares expandidas e matéria seca de plântulas aos 45 dias.

### **Tetrazólio**

Realizou-se o teste de tetrazólio com quatro repetições de 25 grãos sem pergaminhos colocados em recipientes contendo água destilada para embebição por período de 48 horas, a 30 °C (CLEMENTE; CARVALHO; GUIMARÃES, 2012). Após avaliação da viabilidade, os resultados foram expressos em porcentagem de embriões viáveis.

#### **Acidez titulável total**

A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1N, adaptando-se à metodologia da Association of Official Analytical Chemists - AOAC (1990). O resultado foi expresso em ml de NaOH 0,1N, por 100g de amostra.

#### **Açúcares totais**

Utilizou-se o método da Antrona (DISCHE, 1962). Os açúcares totais foram quantificados por espectrofotometria a um comprimento de onda de 620nm, utilizando uma curva padrão de frutose (100mg/mL) de intervalo 0-100mg.

#### **Atividade da polifenoloxidase**

Para extração da polifenoloxidase foi feita uma adaptação do processo descrito por Draetta e Lima (1976). Foram pesados cinco gramas da amostra macerada de grãos em nitrogênio líquido, aos quais foram adicionados 40mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1M, pH 6,0. Em seguida, submeteu-se a amostra a um agitador magnético por cinco minutos. Todo o material utilizado foi mantido gelado. Após a agitação, foi feita a filtragem em filtro a vácuo, utilizando-se papel Whatman nº1. A polifenoloxidase foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra

sem o DOPA, como branco. A atividade enzimática foi expressa em  $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  massa seca.

### Metodologia estatística

Considerou-se o modelo de regressão quadrático ajustado em função das respostas médias, obtido em três repetições. Com essas especificações, a equação do modelo é dada por meio dos valores paramétricos a serem estimados, representados pelos coeficientes  $\beta$ , conforme se encontra descrito em (1).

$$y_j = \beta_0 + \beta_1 E_i + \beta_2 T_k + \beta_{11} E_i^2 + \beta_{22} T_k^2 + \beta_{12} E_i T_k + \xi_{ik}, \text{ sendo} \quad (1)$$

$i=0,3,6$  e 12 meses os níveis para o fator época;  $k=10$  °C e 25 °C as temperaturas;  $y_j$  a resposta média obtida em três repetições para a  $j$ -ésima variável.

Tendo por base o modelo (1), ajustado para cada variável dependente, com o propósito de determinar a melhor combinação entre os níveis de tempo e temperatura de armazenamento que atendessem os objetivos desejados em cada variável (Tabela 1), utilizou-se o procedimento de otimização de respostas simultâneas proposta por Derringer e Suich (1980).

Tabela 1 Descrição das variáveis e objetivos a serem alcançados por meio da otimização de respostas simultâneas

Variáveis ( $y_{ij}$ )	Objetivos
Germinação	Máximo
Tetrazólio	Máximo
Condutividade Elétrica	Mínimo
Lixiviação de Potássio	Mínimo

Sensorial	Máximo
PFO	Máximo
Acidez	Mínimo
Açúcares	Máximo

Em consonância com o procedimento de otimização de respostas simultâneas, da função “desejável” contextualizada em validar a melhor combinação entre os níveis dos fatores que contemple todos os objetivos (Tabela 1) é definida por D como uma estimativa conjunta das funções  $d_j$  ( $j=1, \dots, p$ ) representada pela média geométrica (2) supondo das  $p$  variáveis.

$$D = \left( \prod_{j=1}^p d_j \right)^{1/p} \text{ sendo } d_j \quad (2)$$

$$d_j = \begin{cases} 0 & \text{para } \hat{y}_j < y_{jL} \\ \frac{\hat{y}_j - y_{jL}}{y_{jT} - y_{jL}} & \text{para } y_{jL} < \hat{y}_j < y_{jT} \\ \frac{y_{jU} - \hat{y}_j}{y_{jU} - y_{jT}} & \text{para } y_{jT} < \hat{y}_j < y_{jU} \\ 0 & \hat{y}_j > y_{jU}, \text{ em que,} \end{cases} \quad (3)$$

$\hat{y}$  corresponde ao valor predito da  $j$ -ésima resposta;

$y_{jT}$  indica um valor específico para a  $j$ -ésima resposta de interesse;

$y_{jL}$  indica o menor valor que a função desejável assumirá ( $y_{jL} < y_{jT}$ );

$y_{jU}$  refere-se ao maior valor que a função desejável assumirá ( $y_{jT} < y_{jU}$ ).

Convém ressaltar que essa função visa converter um problema de várias respostas, em uma única resposta por meio de um procedimento de normalização. Com este procedimento, dado  $j=1, \dots, p$  variáveis a interpretação da

função desejável, representado pelo índice  $d_j$  ( $j = 1, \dots, p$ ) para cada variável resposta, considera uma escala de 0 a 1.

O extremo  $d_j = 0$  permite concluir que o ponto ótimo pesquisado é indesejável e interpreta-se que o ponto ótimo pesquisado seja completamente indesejável. No caso,  $d_j = 1$  o ótimo é considerado desejável ou satisfatório.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Otimização da combinação de fatores considerando as variáveis para o café despulpado armazenado beneficiado e não beneficiado

Em consonância com a metodologia de otimização de respostas simultâneas, para cada variável dependente foram determinados os limites de especificação. Estes foram determinados tendo como referência os valores máximos e mínimos obtidos na realização do experimento, com estratificação em três níveis de valores (alto, médio e baixo). Dependendo do objetivo de cada variável, foi escolhido o nível desejável, seja alto ou baixo. Desta forma, encontram-se descritos os referidos limites, considerando os cafés despulpados armazenados - beneficiados (Tabela 2) e não beneficiados (Tabela 3).

Tabela 2 Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados no procedimento de otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés despulpados armazenados beneficiados

$y_j$ ( $j=1, \dots, p=8$ )	Limites	
	Mínimo ( $y_{jL}$ )	Máximo ( $y_{jU}$ )
Tetrazólio	20,00	29,00
Condutividade Elétrica	70,50	100,00
Lixiviação de Potássio	19,66	34,54
Sensorial	78,62	81,25
Polifenoloxidase	36,34	37,35
Acidez	185,00	193,30
Açúcares	6,40	7,15

Tabela 3 Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados no procedimento de otimização simultânea das variáveis referente aos cafés despulpados armazenados não beneficiados

$y_j$ (j=1,...,p=8)	Limites	
	Mínimo ( $y_{iL}$ )	Máximo( $y_{iU}$ )
Germinação	62,33	93,50
Tetrazólio	70,30	99,00
Condutividade Elétrica	15,16	20,54
Lixiviação de Potássio	8,80	10,18
Sensorial	79,90	81,38
Polifenoloxidase	40,97	43,13
Acidez	130,00	143,30
Açúcares	7,84	8,16

As estimativas do coeficiente de determinação dos modelos (1) ajustados para cada variável, respectivamente aos cafés despulpados armazenados beneficiados e não beneficiados encontram-se descritas nas Tabelas 4 e 5.

Em conformidade com os resultados descritos na Tabela 4, as variáveis que apresentaram valores inferiores para a qualidade de ajuste, mensurada por meio do coeficiente  $R^2$ , foram descartadas no procedimento de otimização, excetuando-se a variável sensorial, uma vez que o interesse consiste em determinar a relação da qualidade dos cafés em relação às variáveis fisiológicas. De forma análoga, manteve-se o mesmo critério para selecionar as variáveis descritas na Tabela 5. Além disso, obedeceu ao critério de escolher as mesmas variáveis para o café despulpado beneficiado e não beneficiado.

Tabela 4 Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustado para cada variável mensurada nas análises do café despolpado armazenado beneficiado

$y$ ( $j=1, \dots, p=8$ )	$R^2$ (%)
Condutividade elétrica	99,03
Lixiviação de Potássio	87,52
Sensorial	70,04
Polifenoxidase	89,24
Acidez	73,35
Açúcares	96,57

Tabela 5 Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustada para cada variável mensurada nas análises do café despolpado armazenado não beneficiado

$y$ ( $j=1, \dots, p=8$ )	$R^2$ (%)
Condutividade elétrica	44,87
Lixiviação de Potássio	87,18
Sensorial	25,10
Polifenoxidase	81,94
Acidez	91,43
Açúcares	80,82

A determinação da combinação ótima entre os níveis de tempo e temperatura de armazenamento foi dada de modo que, as estatísticas de ajuste mencionadas em (2) e (3) apresentem resultados próximos ao valor unitário. Contudo, dado o enfoque na análise sensorial, priorizou-se determinar a combinação ótima, mantendo a variável sensorial nas análises de respostas simultâneas. Desta forma, o procedimento de otimização simultânea foi realizado, avaliando inúmeros cenários entre as variáveis com bom indicativo de ajuste (Tabelas 4 e 5) para os cafés despolpados armazenados beneficiados e não beneficiados. Assim, os resultados que proporcionaram um máximo para o índice global de ajuste, denotado pela estatística D (2) encontram-se descritos na Tabela 6.

Tabela 6 Resumo do procedimento de otimização de respostas simultâneas aplicadas às variáveis dependentes relacionadas ao café despulpado armazenado

Variáveis	Beneficiado		Não Beneficiado	
	Valor predito “y”	d	Valor predito “y”	d
Condutividade Elétrica	73,22	0,90	18,71	0,33
Açúcares Totais	7,01	0,75	7,96	0,38
Sensorial	80,27	0,81	79,52	0,50
Níveis Ótimos				
	Beneficiado (D=0,82)		Não Beneficiado (D=0,40)	
Tempo de armazenamento	3 meses		(6,7) 7 meses	
Temperatura	10 °C		10 °C	

Conforme os resultados na Tabela 6, a combinação ótima entre os níveis de época e temperatura que satisfaça os objetivos simultâneos para os cafés despulpados armazenados beneficiados, foi estimada em 3 meses com a temperatura de 10 °C.

Isso indica que as condições de refrigeração no armazenamento são adequadas para a otimização da qualidade sensorial, fisiológica e química dos grãos de café despulpados com estas características iniciais. Estes resultados corroboram aos encontrados por diversos autores que comprovaram que a redução da temperatura da massa de grãos é eficiente para garantir a conservação da qualidade dos produtos agrícolas, aumentando o período de armazenamento e diminuindo os processos de deterioração (AFONSO JÚNIOR et al., 2006; CORRÊA et al., 2003; GUO et al., 2008; QUIRINO et al., 2013; RIGUEIRA et al., 2009; ROSA et al., 2013).

Rigueira et al. (2009) estudando a qualidade do café cereja descascado armazenado em ambiente resfriado (15 °C), temperatura de 25 °C e armazém convencional (sem controle da umidade e temperatura do ar), observaram que o processo de resfriamento manteve a qualidade da bebida e o teor inicial de água dos grãos por um período de 180 dias, além de ter contribuído para reduzir a

perda de íons, de acordo com os resultados de condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Assim, o resfriamento do ar ambiente é eficaz na preservação e conservação das características qualitativas iniciais de grãos de café cereja descascado, comparado com as condições a 25 °C e à temperatura ambiente em armazém convencional.

Rosa et al. (2013) também observaram que o ambiente refrigerado proporcionou melhores condições de armazenamento, prolongando o período de conservação do café e a preservação das características qualitativas iniciais. Afonso Júnior et al. (2006) concluíram que ocorre aumento na qualidade fisiológica das sementes de café com a redução da temperatura de armazenamento para 15 °C. Corrêa et al. (2003) constataram que os grãos de café apresentam redução na qualidade da bebida com o aumento da temperatura e do período de armazenagem.

Com relação ao período adequado para otimizar as características de qualidade dos cafés despulpados armazenados, sabe-se que além dos fatores ambientais, a própria qualidade inicial pode interferir no tempo de armazenamento. Nesta pesquisa observou-se que, o processo de beneficiamento mecânico pode ter causado danos aos grãos, o que pode também ter contribuído para a redução do tempo ótimo de armazenamento para os cafés armazenados beneficiados quando comparado ao café armazenado em pergaminho (sem o beneficiamento). Além disso, a proteção do pergaminho nos grãos armazenados sem o beneficiamento pode ter contribuído para prolongar o período ótimo de armazenamento.

Rendón et al. (2013) observaram em sua pesquisa que após o beneficiamento do café, realizados aos 3 meses de armazenamento, a viabilidade das sementes diminuiu rapidamente até a perda total no nono mês. Selmar, Bytof e Knopp (2008) constataram que nos cafés beneficiados antes do armazenamento mais de 50% dos grãos perdem a viabilidade nos primeiros 3

meses de armazenamento. Após um ano de armazenamento, todas as sementes já estavam mortas. Em contraste, mais da metade dos grãos de café armazenados em pergaminho ainda estava viva após um ano de armazenamento. Uma das hipóteses para explicar estes resultados é o estresse mecânico que os grãos são submetidos durante o processo de beneficiamento, resultando em lesões que são posteriormente responsáveis pelo rápido declínio da viabilidade dos grãos. Os autores concluíram que para preservar a qualidade do café processado por via úmida, recomenda-se o armazenamento com o pergaminho.

Rosa et al. (2013) constataram que os cafés armazenados beneficiados e em pergaminho aos 8 meses de armazenamento ainda mantiveram a qualidade fisiológica no ambiente refrigerado (10 °C). Esse resultado é próximo a 6 meses, época adequada para a otimização da qualidade dos grãos nesta pesquisa.

Contudo, é importante ressaltar que nas pesquisas citadas não se buscou a otimização dos resultados qualitativos, apenas comparou-se as análises efetuadas independentemente. No tocante aos resultados do café não beneficiado, a recomendação dos níveis de tempo e temperatura de armazenamento, corroborada pelo processo de otimização em concordância com os estudos mencionados anteriormente, não há evidências estatísticas de que possam ser utilizadas aos cafés não beneficiados, uma vez que, a estatística  $D=0,40$ . Tal fato é justificado pela falta de ajuste do modelo quadrático a variável sensorial (Tabela 5).

### **3.2 Otimização da combinação de fatores considerando as variáveis para o café natural armazenado beneficiado e não beneficiado**

Em se tratando das análises das variáveis pertencentes aos cafés naturais armazenados beneficiados e não beneficiados, os limites de especificação encontram-se descritos, respectivamente nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados na otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés naturais armazenados beneficiados

$y_j$ ( $j=1, \dots, p=8$ )	Limites	
	Mínimo ( $y_{jL}$ )	Máximo ( $y_{jU}$ )
Tetrazólio (TETR)	48,00	58,00
Condutividade Elétrica (COEL)	64,12	84,47
Lixiviação de Potássio (LXPO)	21,83	28,71
Sensorial (SENS)	78,41	80,50
PPO	35,31	36,13
Acidez (ACID)	175,00	188,30
Açúcares (AÇUC)	6,93	7,83

Tabela 8 Descrição dos objetivos e limites de especificação utilizados na otimização simultânea das variáveis referentes aos cafés naturais armazenados não beneficiados

$y_j$ ( $j=1, \dots, p=8$ )	Limites	
	Mínimo ( $y_{jL}$ )	Máximo ( $y_{jU}$ )
Germinação (GERM)	38,00	57,00
Tetrazólio (TETR)	64,00	96,00
Condutividade Elétrica	33,80	42,22
Lixiviação de Potássio	12,50	15,11
Sensorial	79,91	82,50
Polifenoloxidase	38,66	39,93
Acidez	155,00	165,80
Açúcares	7,35	8,26

As estimativas do modelo de regressão quadrático, respectivamente para o café natural armazenado beneficiado e não beneficiado, encontram-se descritos na Tabela 9. Novamente, as variáveis que apresentaram baixos índices de qualidade de ajuste não foram consideradas no procedimento de otimização. Além disso, obedeceu ao critério de escolher as mesmas variáveis para o café natural beneficiado e não beneficiado.

Tabela 9 Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustada para cada variável mensurada nas análises do café natural armazenado beneficiado

<b>y (j=1,...,p=8)</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>
Condutividade elétrica	88,74
Lixiviação de Potássio	90,89
Sensorial	88,06
Polifenoxidase	46,47
Acidez	72,43
Açúcares	85,94

Tabela 10 Regressões quadráticas com efeito de interação entre tempo e temperatura de armazenamento ajustada para cada variável mensurada nas análises do café natural armazenado não beneficiado

<b>y (j=1,...,p=8)</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>
Condutividade elétrica	83,08
Lixiviação de Potássio	94,77
Sensorial	58,24
Polifenoxidase	78,58
Acidez	80,04
Açúcares	98,14

Conforme os resultados ilustrados na Tabela 11, a combinação ótima entre os níveis de tempo e temperatura de armazenamento que satisfaça os objetivos simultâneos para o café natural armazenado beneficiado e não beneficiados é 7 meses de armazenamento em temperatura refrigerada (10 °C). Nota-se que o coeficiente de determinação do modelo de regressão quadrático ajustado para a variável sensorial (Tabela 10) apresentou um valor “razoável” que justifique seu ajuste, entretanto, ao realizar o procedimento de otimização, na presença das variáveis (Tabela 11), a estatística D apresentou valores próximos ao máximo, tendo como referência o valor unitário, portanto, justificando sua presença na determinação da combinação ótima para os cafés naturais.

Tabela 11 Resumo do procedimento de otimização de respostas simultâneas aplicadas às variáveis dependentes relacionadas ao café natural armazenado

<b>Natural</b>				
	<b>Beneficiado</b>		<b>Não Beneficiado</b>	
<b>Variáveis</b>	<b>Valor predito “y”</b>	<b>d</b>	<b>Valor predito “y”</b>	<b>D</b>
Lixiviação de K	21,72	1,00	12,49	1,00
Açúcares Totais	7,38	0,93	8,47	1,00
Sensorial	78,22	0,77	79,55	0,51
<b>Níveis Ótimos</b>				
	<b>Beneficiado (D=0,89)</b>		<b>Não Beneficiado (D=0,80)</b>	
Tempo de armazenamento	6,7 meses		6,8 meses	
Temperatura	10 °C		10°C	

Assim como no café despulpado, a temperatura de armazenamento de 10 °C é adequada para otimizar os aspectos qualitativos fisiológicos, químicos e sensoriais dos grãos de café natural armazenado, quando comparada a temperatura de 25 °C.

Como a resposta ótima para o café natural independe dos grãos serem beneficiados antes ou após o armazenamento, recomenda-se o armazenamento do café natural beneficiado. Isso porque a operação reduz o volume de café a ser transportado e armazenado, reduzindo o custo da saca de café.

#### **4 CONCLUSÕES**

Condições de ar refrigerado (10 °C) são consideradas ótimas para a conservação da qualidade dos grãos de café, independente do processamento e se armazenados com ou sem o beneficiamento.

Grãos de café obtidos pelo processamento despulpado armazenados beneficiados têm a conservação da qualidade prejudicada por mais de 3 meses sob condições de 10°C, devido ao beneficiamento mecânico ou a ausência da proteção do endocarpo.

Grãos de café obtidos pelo processamento via seca (café natural), armazenados beneficiados ou não, podem ser armazenados por até 7 meses em condições de 10°C, sem comprometer a qualidade fisiológica, química e sensorial. Sendo recomendado o armazenamento dos grãos de café natural armazenado beneficiado.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

À CAPES, FAPEMIG, CNPq e INCT-Café.

## REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. et al. Secagem, armazenamento e qualidade fisiológica de sementes do cafeeiro. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 9, p. 67-82, 2006. Especial Café.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Washington, 1990.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras de análises de sementes**. Brasília, 2009. 147 p.

CARNEIRO, R. L. et al. Métodos de gradiente para otimização simultânea: Estudo de casos de sistemas alimentares. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 353-362, 2005.

CLEMENTE, A. C. S.; CARVALHO, M. L. M.; GUIMARÃES, R.M. Suitability of the tetrazolium test methodology for recently harvested and stored coffee seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, p. 415-423, 2012.

CORRÊA, P. C. et al. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento em condições diversas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 7, p. 137-147, 2003. Especial Café.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response Variables. **Journal of Quality Technology**, Milwaukee, v. 12, n. 4, p. 214-219, 1980.

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

GUO, L. et al. Effects of controlled freezing-point storage at 0°C on quality of green bean as compared with cold and room-temperature storages. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 86, n. 1, p. 25-29, 2008.

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

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7th ed. Long Beach California: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

MALTA, M.R., CHAGAS, S. R. J.; OLIVEIRA, W. M. Composição físico-química e qualidade do café submetido a diferentes formas de pré-processamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 6, p.37-41, 2003. Especial café.

MALTA, M.R.; PEREIRA, R.G.F.A.; CHAGAS, S.J.R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1015- 1020, 2005.

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

PRETE, C. E. C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. Thesis (Ph.D) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1992. p. 125.

QUIRINO, J.R. et al. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p.378-386, 2013.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, London, v. 147, p. 279- 286, 2013.

RIGUEIRA, R. J. A. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 323-333, jul./ago. 2009.

ROSA, S. D. V. F. et al. Aspectos fisiológicos de grãos de café armazenados em ambiente resfriado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Brasília: Consórcio Pesquisa Café, 2013.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica* L.): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, n. 1, p. 31-38, 2008.

**ARTIGO 3**

**CONSERVAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ EM AMBIENTE  
REFRIGERADO: RELEVÂNCIA DA ATIVIDADE DE ENZIMAS DO  
PROCESSO OXIDATIVO**

## RESUMO

Objetivou-se nesta pesquisa investigar a relevância da atividade de isoenzimas do processo antioxidativo na conservação da qualidade de grãos de café natural e despulpado durante o período de armazenamento. Os cafés foram colhidos no estágio de maturação cereja, processados por via seca (em coco, natural) e por via úmida (em pergaminho, despulpado) e secados até atingirem 11% do teor de água. Após a secagem, parte dos grãos foi beneficiada e outra parte mantida em coco ou em pergaminho. Em seguida os grãos foram armazenados em condições controladas de ar refrigerado (10°C e umidade relativa de 50%) e em ambiente com temperatura controlada de 25°C, por período de 12 meses. A atividade enzimática das enzimas catalase (CAT), esterase (EST), peroxidase (PO) e álcool desidrogenase (ADH) foi investigada nos grãos dos cafés antes e após três, seis e doze meses de armazenamento por meio de expressão em gel de eletroforese e a determinação da atividade da enzima polifenoloxidase (PFO), medida por espectrofotometria. Estes resultados foram comparados ao perfil fisiológico e sensorial das amostras. Foi constatado que a atividade das enzimas do processo antioxidativo está associada com alterações na qualidade dos grãos de café. Grãos de café em coco obtidos pelo processamento via seca são mais sensíveis às alterações bioquímicas do que os processados por via úmida, revelado pela maior atividade das enzimas CAT, PFO e ADH. A partir do sexto mês de armazenamento é possível observar o efeito benéfico da refrigeração do ar de armazenagem evidenciado pela maior atividade das enzimas CAT, PO e ADH. A atividade enzimática das enzimas do processo antioxidativo está associada à presença do pericarpo no café natural e endocarpo no café despulpado, indicando que o beneficiamento é prejudicial para a conservação da qualidade dos grãos.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L. Pós-colheita. Catalase. Esterase. Peroxidase. Álcool Desidrogenase. Polifenoloxidase.

## 1 INTRODUÇÃO

No processo pós-colheita do café, os grãos estão sujeitos a inúmeros eventos fisiológicos, bioquímicos e físicos que podem interferir negativamente a sua qualidade sensorial (BORÉM et al., 2013, 2014; ISQUIERDO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013; SAATH et al., 2014; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008). Esses eventos podem causar a deterioração dos grãos e sementes, como a produção de espécies reativas de oxigênio, degradação e inativação de enzimas, redução da atividade respiratória e a perda de integridade das membranas celulares (COPELAND; MCDONALD, 2001; SHARMA et al., 2012; VIDIGAL et al., 2009).

O avanço do processo deteriorativo pode ser detectado pelas alterações na expressão de sistemas enzimáticos em grãos e sementes quando submetidas a condições de estresse, como no armazenamento (DUSSERT et al., 2006; SHARMA et al., 2012). Essas ações deteriorativas devem ser identificadas e erradicadas do processo produtivo para garantir a conservação da qualidade de grãos e sementes de café ao longo do armazenamento.

As principais enzimas envolvidas no sistema de proteção contra deterioração são as enzimas catalase (CAT), peroxidase (PO), superóxido dismutase (SOD) e a polifenoloxidase (PFO) que atuam como removedoras de “espécies reativas de oxigênio” (EROs) (BERJAK, 2006). Esses radicais livres causam alterações da função das membranas, promovendo a peroxidação de lipídios, inativação de enzimas e a degradação de ácidos nucleicos (GREGGAINS et al., 2000). Assim, autores defendem que a baixa atividade de enzimas removedoras de peróxidos aumenta a sensibilidade dos grãos e sementes a estresses oxidativos, contribuindo para a deterioração dos mesmos (BERJAK, 2006).

Por outro lado, a baixa atividade de enzimas removedoras de peróxidos também pode indicar a não requisição da enzima diante da inexistência do estresse oxidativo e conseqüente ausência de “espécies reativas de oxigênio”. Estresses ambientais podem causar aumento ou diminuição da atividade de certas enzimas, dependendo da intensidade, tempo de exposição e tipo de estresse (HAN; LIU; YANG, 2009; MOUSSA; ABDEL-AZIZ, 2008; SHARMA; DURBEY, 2005).

Durante a pós-colheita os grãos estão sujeitos ao estresse causado pelo beneficiamento, realizado mecanicamente para a remoção do pericarpo e endocarpo. Esta operação pode causar trincas ou danos latentes que serão evidenciados posteriormente no armazenamento. Estes danos mecânicos podem provocar a desestruturação de membranas celulares e desorganização celular, promovendo a redução na qualidade (AMORIM, 1978; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

Normalmente, os grãos de cafés são armazenados após o beneficiamento, sendo que as condições de armazenamento em grande escala são realizadas em modelos convencionais, utilizando sacos de juta e em ambiente com temperatura e umidade relativa não controlados. Portanto, os grãos ficam expostos a condições de estresse durante o armazenamento. Uma alternativa para reduzir ou evitar o estresse causado aos grãos nesta etapa é a refrigeração da massa de grãos, que tem mostrado resultados positivos na qualidade dos grãos (RIGUEIRA et al., 2009).

Neste trabalho investigou-se a relevância da atividade de isoenzimas do processo oxidativo na conservação da qualidade de grãos de café submetidos a diferentes tipos de processamento, beneficiamento e armazenados em ambiente refrigerado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se grãos de *Coffea arabica* L. cv Catuaí Amarelo, obtidos de lavoura da Fazenda Experimental da Fundação Procafé, no município de Varginha, MG. Os frutos foram colhidos no estágio de maturação cereja, por meio de colheita seletiva, os quais foram lavados para a separação de frutos chochos, mal formados, brocados e impurezas, antes de serem submetidos a dois diferentes tipos de processamentos, por via seca e por via úmida. Parte dos frutos selecionados foi submetida imediatamente à secagem (café natural) e outra parte foi submetida ao descascamento mecânico e desmucilagem por meio de fermentação em água, durante 24 horas (café despulpado), antes da secagem.

Os cafés foram secados até a meia seca em telas de polietileno, dispostas de forma suspensa e revolvidos 12 vezes ao dia, durante o período de secagem até a meia seca, com umidades de 30% no café natural e 25% no café despulpado; b.u. A partir da meia-seca, os cafés foram transferidos para secadores mecânicos de camada fixa. Durante a secagem, a temperatura da massa de grãos foi mantida em 35 °C e monitorada constantemente com termômetro de mercúrio inserido na massa de grãos, até que estes atingissem o teor de água de 11 % (b.u.).

Após a secagem, os grãos foram submetidos ao beneficiamento mecânico e a outra parte foi armazenada sem beneficiar. Os grãos de café foram embalados em sacos de polipropileno Jutex® e armazenados por 12 meses em dois ambientes diferentes, câmara fria com controle de temperatura e umidade relativa (10 °C, 50% UR) e sala de armazenamento com temperatura constante de 25 °C sem o controle da umidade relativa. No momento das avaliações, os grãos de café armazenados sem beneficiamento foram beneficiados manualmente para evitar danos.

Para as análises eletroforéticas, foram coletadas amostras em cada época de armazenamento (zero, 3, 6 e 12 meses) e armazenadas em *deep freezer* (-80°C). Ao final dos 12 meses, as amostras foram maceradas em nitrogênio líquido e mantidas no *deep-freezer* a -80 °C até o momento das análises. Para a extração das enzimas esterase (EST), catalase (CAT), e álcool desidrogenase (ADH) utilizou-se o tampão Tris HCL 0,2M pH 8,0 + (0,1% de  $\beta$ -mercaptoetanol) na proporção de 320  $\mu$ L por 100 mg de grãos. O material foi homogeneizado em vortex e mantido por 60 minutos em geladeira, seguido de centrifugação a 14.000 rpm por 60 minutos na temperatura de 4 °C.

A extração da peroxidase (PO) foi realizada com tampões de extração próprios. A extração da enzima peroxidase (PO) foi realizada em tampão fosfato (0,034M de fosfato de sódio bi-básico; 0,2M de sacarose; 2,56% de PVP40; 3M de DTT; 5,7mM ácido ascórbico; 2,5mM de borato de sódio; 1% de PEG 6000, 0,002% de b-mercaptoetanol) e 2g do antioxidante PVP 40 (polivinilpirrolidone). Para a extração da ICL foi utilizado o tampão Tris-HCl 0,2M pH 8,0 + 0,1% de  $\beta$ -mercaptoetanol + 0,1% Fenilhidrazina, na proporção de 300 na proporção de 300  $\mu$ L por 100 mg de grãos. O material foi homogeneizado em vortex e mantido por 60 minutos em geladeira, seguido de centrifugação a 14.000 rpm por 60 minutos na temperatura de 4 °C.

A corrida eletroforética ocorreu em sistema de géis de poliacrilamida com concentração de 7,5% (gel separador) e 4,5% (gel concentrador). O sistema gel/eletrodo utilizado foi o Trisglicina pH 8,9. Foram aplicados 50  $\mu$ L do sobrenadante das amostras no gel e a corrida eletroforética efetuada a 120 V por 5 horas. Terminada a corrida, os géis foram revelados para as enzimas esterase (EST), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), álcool desidrogenase (ADH) e peroxidase (PO), conforme Alfenas (2006). A avaliação dos padrões enzimáticos foi feita de maneira qualitativa de acordo com a presença e intensidade das bandas, utilizando-se um transiluminador.

A atividade da enzima polifenoloxidase foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem o DOPA, como branco. A atividade enzimática foi expressa em  $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  massa fresca.

Para comparar os resultados obtidos nas análises de isoenzimas, foi realizado o perfil fisiológico dos grãos pelo teste de germinação, de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009) e perfil sensorial de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 observa-se a expressão da enzima catalase nos grãos de café submetidos a diferentes processamentos e armazenados. Nota-se maior expressão da enzima CAT em grãos de café natural, em comparação com o café despolpado. Estudos também detectaram maior atividade enzimática da catalase e menor qualidade fisiológica em grãos de café processados por via seca quando comparado ao processado por via úmida (PEREIRA, 2014; TAVEIRA et al., 2012; TOSTA, 2014), revelando uma maior requisição da enzima frente ao evento deteriorativo. Ao longo do armazenamento observou-se a redução da atividade da enzima catalase, principalmente no café natural armazenado nas condições de 25 °C. Estes resultados podem estar associados com o nível de deterioração, já que nestes tratamentos observa-se baixo desempenho fisiológico e sensorial ao longo do armazenamento quando comparado aos grãos processados por via úmida (Figura 2 e 3), sugerindo que o armazenamento do café natural sob condições de 25 °C pode acelerar o processo deteriorativo dos grãos.

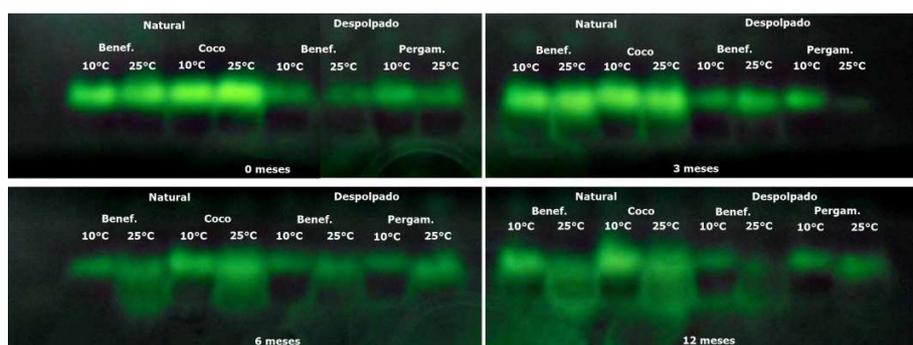


Figura 1 Perfil eletroforético da isoenzima Catalase (CAT) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despolpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C)

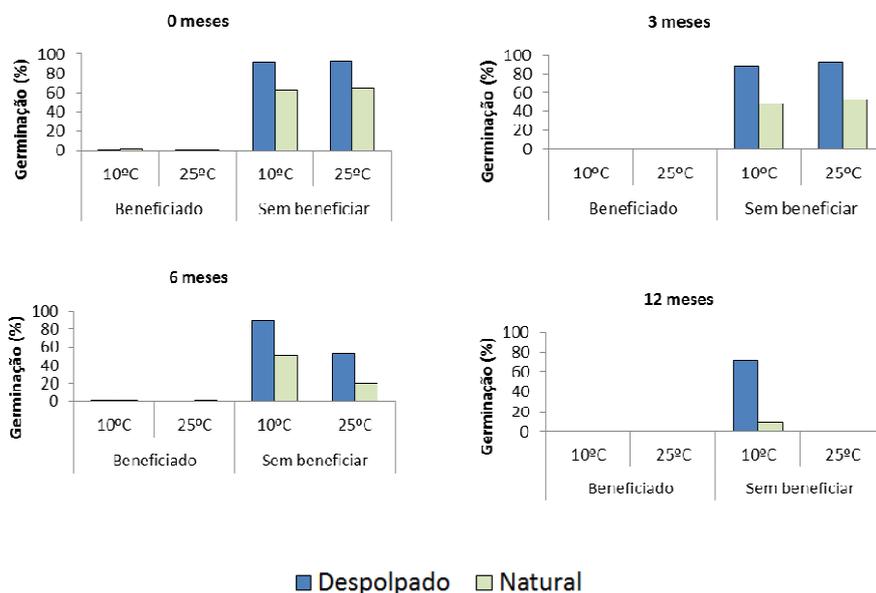


Figura 2 Perfil fisiológico dos grãos de café processados por via úmida (café despolpado) e via seca (café natural), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C)

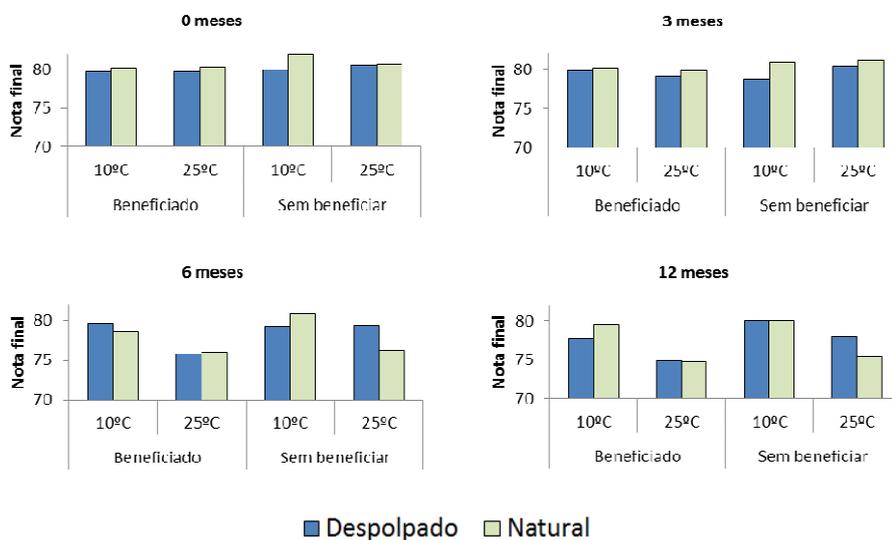


Figura 3 Perfil sensorial dos grãos de café processados por via úmida (café despolpado) e via seca (café natural), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C)

Com relação ao efeito do beneficiamento, grãos de café beneficiados mecanicamente apresentaram menor atividade da CAT comparados aos grãos não beneficiados durante o armazenamento, principalmente no café natural. Ao associar este resultado com o perfil fisiológico dos grãos, nota-se que a germinação dos grãos armazenados após o beneficiamento foi nula desde a primeira época de avaliação. Além disso, no perfil sensorial também foi notado maior redução da qualidade nos cafés armazenados beneficiados, nos dois processamentos (Figura 3). Dessa maneira, a baixa atividade da CAT pode ser explicada pelo fato de que estes grãos já estão em estado de deterioração avançado pela presença de danos mecânicos nos grãos causados pelo beneficiamento, afetando a síntese de enzimas (BASAJAVARAJAPPA; SHETY; PRAKASH, 1991; SHARMA et al., 2012). Já nos cafés armazenados não beneficiados a presença do pericarpo (casca) pode favorecer a conservação da qualidade dos grãos ao longo do armazenamento (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, esses grãos não apresentaram danos mecânicos causados pela beneficiadora, uma vez que foram beneficiados manualmente.

Para os grãos de café despolidos não foram observadas grandes diferenças na expressão da enzima catalase, possivelmente por que o café processado via úmida é menos sensível às alterações causadas pelo beneficiamento e armazenamento quando comparado ao café natural.

Em relação às condições de armazenamento (10 °C, UR 50% e 25 °C), observou-se maiores diferenças a partir da terceira época de armazenamento (6 meses), com maior atividade enzimática da CAT nos cafés armazenados em temperatura de 25 °C, sem controle da UR em comparação aos grãos de café armazenados em ambiente refrigerado (10 °C, UR de 50%). Contudo, essa situação foi mais evidente nos cafés processados por via seca. Essa situação também foi observada na análise sensorial (Figura 3).

Sabe-se que situações inadequadas de armazenamento podem gerar condições de estresse nos grãos, favorecendo o processo deteriorativo e alterando a expressão de enzimas (DUSSERT et al., 2006). As condições de temperatura e umidade relativa do ar são extremamente importantes para a evolução do processo deteriorativo em grãos de café durante o armazenamento (SANTOS, CHALFOUN; PIMENTA, 2009; SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2005).

Na Figura 4, estão representados os perfis enzimáticos da Esterase (EST) em cafés submetidos a diferentes métodos de processamento, beneficiamento e condições de armazenamento. Observou-se, de maneira geral, maior atividade enzimática em grãos de café não armazenados (período zero de avaliação), para todos os tratamentos com redução da atividade dessa enzima ao longo do armazenamento, assim como na qualidade sensorial (Figura 3). Em outras espécies também foi constatada maior atividade da enzima esterase antes do armazenamento e a diminuição da intensidade das bandas com o aumento do processo de deterioração ao longo do armazenamento (PADILHA et al., 2001; SANTOS; MENEZES; VILELA, 2004).

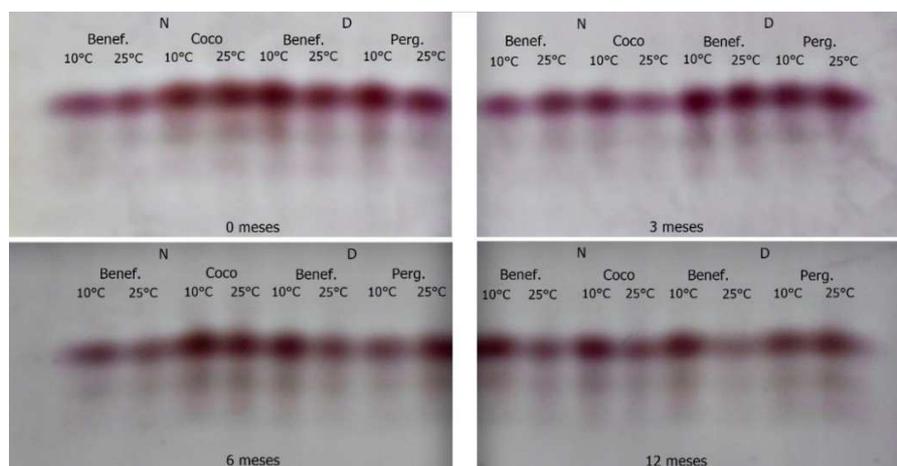


Figura 4 Perfil eletroforético da isoenzima Esterase (EST) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despolpado), armazenados eneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C)

Observou-se também diferenças no perfil eletroforético da enzima em relação ao tipo de processamento. Obteve-se maior atividade da enzima EST no café natural não beneficiado no início do armazenamento, quando comparado com os cafés submetidos ao beneficiamento. A partir dos seis meses de armazenamento também é observado o efeito benéfico do armazenamento em condições refrigeradas com a maior atividade da enzima nos cafés não beneficiados e armazenados a 10 °C.

Já nos grãos processados por via úmida (despolpado), nota-se no início do armazenamento um padrão similar da atividade da EST entre os tratamentos. Contudo, a partir dos 6 meses de armazenamento é observada redução da atividade enzimática em grãos de café beneficiados e armazenados em temperatura de 25 °C em relação aos outros tratamentos. Por outro lado, não houve alteração da atividade da enzima quando os grãos de café foram armazenados em condições refrigeradas ( 10 °C), independentemente do tipo de beneficiamento.

Nos tratamentos em que se observou maior atividade da enzima EST (grãos de café que não foram submetidos ao beneficiamento e armazenados em condições de temperatura refrigerada), também foram os que apresentaram maior desempenho fisiológico (Figura 2), sugerindo a relação da maior atividade da enzima com a melhor qualidade fisiológica dos grãos de café. Resultados semelhantes foram observados por Brandão Júnior et al. (1998), que relataram diminuição do número de bandas e intensidade da enzima esterase com a perda da viabilidade das sementes de café, confirmando os resultados obtidos neste trabalho.

Com relação à enzima Peroxidase (PO) é possível observar o aumento da atividade enzimática ao longo do armazenamento (Figura 5). Esta enzima está associada à oxidação por peróxidos, como aceptores de hidrogênio, sendo importante mecanismo de defesa (FARIA et al., 2003).

Antes do armazenamento observou-se menor atividade da peroxidase no café despulpado e submetido ao beneficiamento mecânico em comparação aos demais tratamentos.

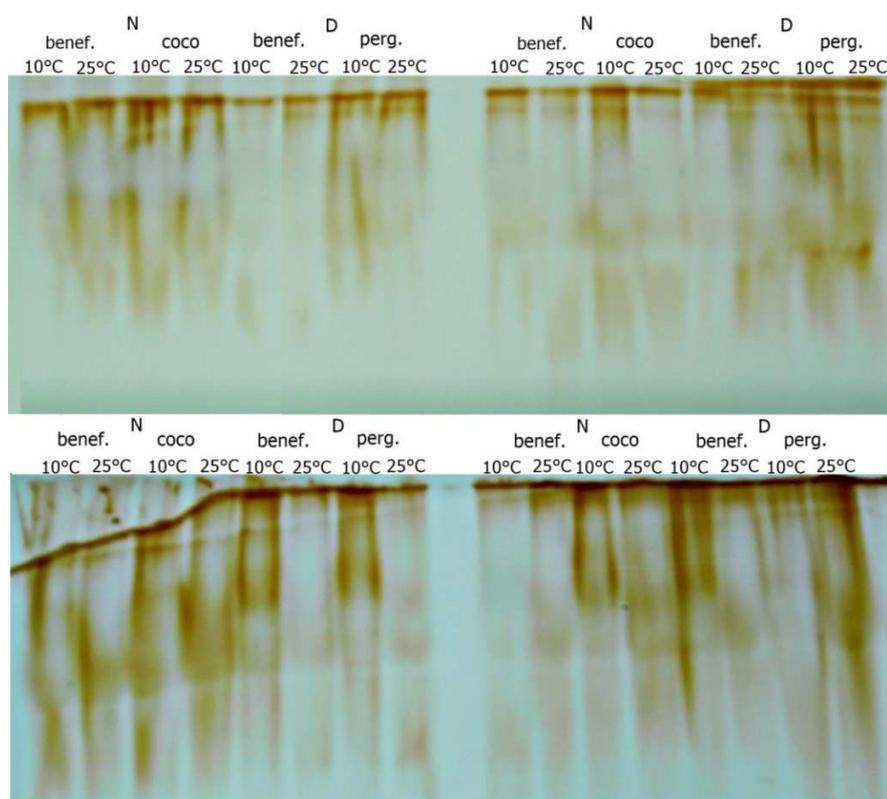


Figura 5 Perfil eletroforético da isoenzima Peroxidase (PO) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despulpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições (10°C e 50% UR; 25°C)

Nos grãos de café despulpado, é possível observar aumento da atividade da PO a partir do sexto mês de armazenamento em condições refrigeradas (10 °C e UR 50%), independentemente do tipo de beneficiamento. Já nos grãos de café natural, a maior atividade da enzima foi associada aos cafés não beneficiados (coco) e armazenados em temperaturas baixas (10 °C e UR 50%).

Nos dois processamentos, os cafés que tiveram maior expressão da enzima PO também possuíam melhor desempenho fisiológico.

Estes resultados concordam com diversos autores que observaram maior atividade da PO em cafés com qualidade fisiológica superior (BRANDÃO JÚNIOR; VIEIRA; HILHORST, 2002; SAATH et al., 2014; TAVEIRA et al., 2012), já que a perda da sua atividade pode tornar a semente mais sensível aos efeitos de O<sub>2</sub> e radicais livres sobre os ácidos graxos insaturados de membrana. Esta situação provoca a degeneração de membranas e o comprometimento fisiológico de grãos e sementes.

A enzima Álcool Desidrogenase (ADH) atua no metabolismo anaeróbico de plantas, promovendo redução do acetaldeído a etanol (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2005). Assim, em condições de baixa atividade enzimática da ADH ocorre aumento da produção de acetaldeído, acelerando a deterioração dos grãos e sementes (ZHANG et al., 1994).

De maneira geral, observou-se uma redução da atividade da ADH (Figura 6) e da qualidade fisiológica (Figura 2) e sensorial (Figura 3) dos grãos ao longo do armazenamento em todos os tratamentos, evidenciando que a produção de acetaldeído pelos grãos e sementes durante o armazenamento é um importante fator no processo de deterioração (ZHANG et al., 1994).

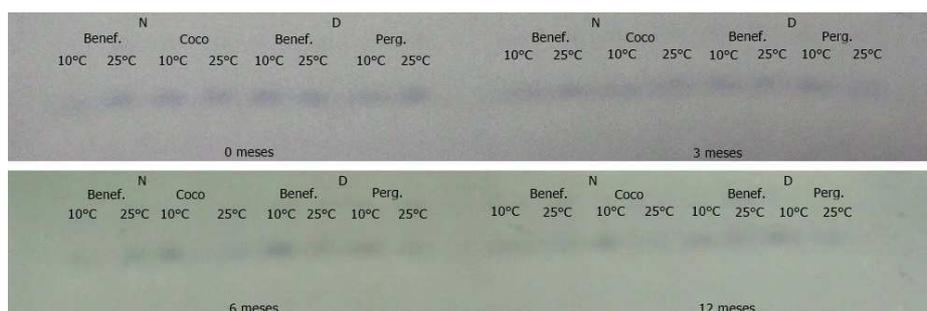


Figura 6 Perfil eletroforético da isoenzima Álcool Desidrogenase (ADH) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despolpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições de armazenamento. (10°C e 50% UR; 25°C)

Ao comparar os grãos processados por via úmida e por via seca, nota-se que os grãos de café natural possuem uma menor atividade da ADH (Figura 6) e menor qualidade fisiológica (Figura 2), sendo que a diferença entre os processamentos é evidenciada a partir do sexto mês de armazenamento. Isso revela a maior sensibilidade do café natural às condições de armazenamento.

É possível também constatar que a partir dos 6 meses de armazenamento a enzima ADH possui maior atividade em cafés armazenados em condições de baixa temperatura (10 °C, UR 50%). Além disso, aos 12 meses de armazenamento a atividade enzimática da ADH é maior em cafés não beneficiados e armazenados nessas condições. Nas duas situações, os cafés que apresentaram maior atividade da ADH também são os que apresentaram melhores resultados fisiológicos (Figura 2) e melhor qualidade sensorial (Figura 3).

Estes resultados corroboram com os encontrados por outros autores, os quais observaram redução da atividade enzimática da ADH com a queda do desempenho fisiológicos de sementes (BRANDÃO JÚNIOR; VIEIRA; HILHOST, 2002; VIDIGAL et al., 2009).

Na Figura 7, observa-se de maneira geral que grãos obtidos pelo processamento via úmida possuem maiores valores da atividade enzimática da Polifenoloxidase (PFO) e melhor desempenho fisiológico (Figura 2) do que grãos processados por via seca, quando compara-se os resultados entre grãos armazenados beneficiados e entre grãos armazenados em pergaminho ou em coco. Sendo que esta situação é mais perceptível a partir do sexto mês de armazenamento. Resultados similares foram encontrados por Santos, Chalfoun e Pimenta (2009) e Taveira et al. (2012), que verificaram maior atividade da enzima PFO em grãos de café despolpado.

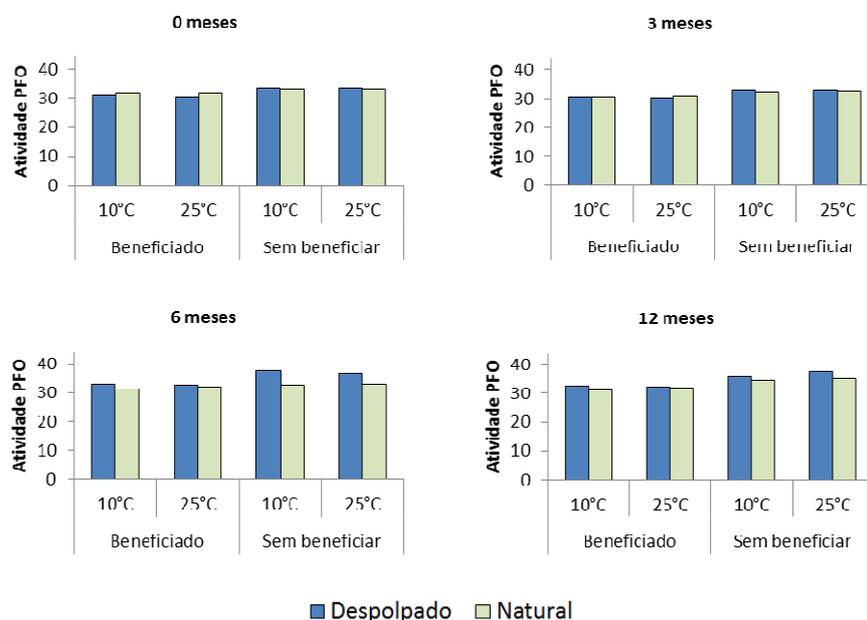


Figura 7 Valores médios da atividade enzimática da polifenoloxidase (PFO) ( $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  massa seca) em grãos de café processados por via seca (café natural) e via úmida (despolpado), armazenados beneficiados ou não, por 12 meses em diferentes condições de armazenamento. (10°C e 50% UR; 25°C)

Nos grãos de café processados por via úmida (despolpado) e via seca, a atividade da polifenoloxidase (PFO) não foi afetada pelas condições de armazenamento. Apesar desta enzima ter forte correlação com a qualidade sensorial e em outros estudos terem detectado redução da atividade com o aumento do tempo e da temperatura de armazenamento (CORRÊA et al., 2003), neste trabalho os resultados desta enzima são divergentes da análise da bebida, em que cafés armazenados em ambiente refrigerado apresentaram melhores resultados.

Maiores valores da atividade enzimática da PFO foram encontrados em grãos de café armazenados em coco e em pergaminho, os quais também apresentaram melhor qualidade fisiológica (Figura 2). Isso mostra o efeito

protetor do pericarpo (café em coco) ou do endocarpo (café em pergaminho) sobre os grãos de café ao longo do armazenamento, já que a maior atividade da enzima está relacionada a cafés de melhor qualidade. Além disso, o beneficiamento dos grãos foi realizado mecanicamente, de maneira similar àquela que ocorre na produção comercial de café. Isso pode ter afetado ainda mais a redução da atividade da enzima, devido ao dano mecânico que a máquina pode causar aos grãos de café causando trincas ou danos latentes.

#### **4 CONCLUSÕES**

1. A atividade de enzimas do processo oxidativo está associada à deterioração dos grãos de café.
2. Grãos de café obtidos pelo processamento via seca são mais sensíveis às mudanças bioquímicas do processo deteriorativo do que o processado por via úmida, revelado pela maior atividade das enzimas CAT, PFO e ADH.
3. A partir do sexto mês de armazenamento é possível observar o efeito benéfico da refrigeração da temperatura, evidenciado pela melhor atividade das enzimas CAT, PO e ADH.
4. A presença da proteção do endosperma (pericarpo ou endocarpo) está relacionada à atividade enzimática das enzimas do processo oxidativo, indicando que o armazenamento sem beneficiamento é benéfico para a qualidade bioquímica dos grãos.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Á FAPEMIG, CNPq e ao Consórcio Pesquisa Café, pelo apoio financeiro nas pesquisas.

## REFERÊNCIAS

ALFENAS, A.C. **Eletroforese e marcadores bioquímicos em plantas e microrganismos**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 627 p.

AMORIM, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com deterioração da qualidade**. 1978. 85p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1978.

BASAVARAJAPPA, B. S.; SHETTY, H. S.; PRAKASH, H. D. Membrane deterioration and other biochemical changes associated with accelerated aging of maize seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 19, n. 2, p. 279-286, 1991.

BERJAK, P. Unifying perspectives of some mechanisms basic to desiccation tolerance across life forms. **Seed Science Research**, Wallingford, v.16, p.1-15, 2006.

BORÉM, F. M. et al. Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, p. 609-616, 2014. Supl. 2.

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

BRANDÃO JÚNIOR, D. S. et al. Uso de padrões eletroforéticos na identificação de cultivares e do nível de deterioração de sementes de *Coffea arabica* L. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3., Londrina. **Anais...** Londrina: UFPR/IAPAR/IRD, 1999. p. 161-164.

BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; VIEIRA, M. G. G. C.; HILHOST, H. W. M. Aquisição da tolerância à dessecação nos diferentes estádios de desenvolvimento de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, p. 673-681, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville; American Society of Plant Physiologists, 2005. 451 p.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M.B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. New York: Chapman & Hall, 2001. 467p.

DUSSERT, S. et al. Oxidative stress, phospholipids loss lipid hydrolysis during and storage of termediate seeds. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 127, n. 2, p. 192-204, June 2006.

GREGGAINS, V. et al. Metabolism-induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist-stored recalcitrant seeds of contrasting species. **New Phytologist**, Cambridge, v. 148, p. 267-276, 2000.

HAN, C.; LIU, Q.; YANG, Y. Short-term effects of experimental warming and enhanced ultraviolet-B radiation on photosynthesis and antioxidant defense of *Picea asperata* seedlings. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 58, n. 2, p. 153-162, 2009.

MOUSSA, R.; ABDEL-AZIZ, S. M. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. **Australian Journal of Crop Sciences**, Melbourne, v. 1, n. 1, p. 31-36, 2008.

PADILHA, L. et al. Relação entre o teste de deterioração controlada e o desempenho de sementes de milho em diferentes condições de estresse. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 23, p. 198-204, 2001.

PEREIRA, C. C. **Aspectos fisiológicos, bioquímicos e sensoriais de grãos de café armazenados em temperatura ambiente e em ar resfriado**. 2014. 54 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PIMENTA, C.J.; VILELA, E.R. Efeito do tipo e época de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, p. 131-136, 2003.

PONTING, J.D.; JOSLYNG, M.A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts. **Archives of Biochemistry**, New York, v.19, p. 47-63, 1948.

RIGUEIRA, R.J.A.; LACERDA FILHO, A.F.; VOLK, M.B.S. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. **Alimento e Nutrição**, Campinas, v. 20, n. 4, p. 649-655, 2009.

SAATH, R. et al. Activity of some isoenzymatic systems in stored coffee grains. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, Feb. 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542014000100002&script=sci_arttext)>. Acesso em: 22 dez. 2014.

SANTANA, M. T. A. et al. Caracterização físico-química e enzimática de uva “patrícia” cultivada na região de Primavera do Leste – MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 186-190, 2008.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L.; VILLELA, F. A. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 26, p. 110-119, 2004.

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

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica*): Decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, p. 31-38, 2008.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 46, n. 3, p. 209–221, 2005.

SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, Oxford, p. 1- 26, 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/jb/2012/217037/>>. Acesso em: 22 maio 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAVEIRA, J.H. S. et al. Perfis proteicos e desempenho fisiológico de sementes de café submetidas a diferentes métodos de processamento e secagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1511-1517, out. 2012.

TOSTA, M. F. **Caracterização fisiológica, bioquímica e sensorial de cafés naturais e desmucilados, produzidos em diferentes altitudes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VIDIGAL, D. S. et al. Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 129-136, 2009.

ZHANG, M. et al. A mechanism of seed deterioration in relation to volatile compounds evoked by dry seeds themselves. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 1, p. 49-56, Mar. 1994.

**ARTIGO 4**

**ALTERAÇÕES NA COLORAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ EM FUNÇÃO  
DAS OPERAÇÕES PÓS-COLHEITA**

Artigo aceito para a publicação na Revista *Coffee Science*.

Giselle Figueiredo de Abreu; Cristiane Carvalho Pereira, Marcelo Ribeiro Malta,  
Franciele Caixeta; Aline da Consolação Sampaio Clemente, Sttela Dellyzete Veiga  
Franco da Rosa.

**RESUMO:** A avaliação da cor de grãos de café torna-se importante uma vez que cafés com coloração atípica ou com diferentes níveis de branqueamento receberão menores preços no mercado. Além da desvalorização comercial, as alterações na cor são indicativas da ocorrência de processos oxidativos e alterações bioquímicas que podem modificar os precursores do sabor e aroma dos grãos, reduzindo a qualidade da bebida. Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar as características de cor de grãos de café de diferentes qualidades, os quais foram processados e beneficiados por meio de diferentes métodos, e armazenados em diferentes condições. Frutos de *Coffea arabica* foram colhidos no estágio cereja e processados por via úmida e por via seca. Os grãos foram secados até atingirem 11% de teor de água e submetidos a três formas de beneficiamento (manual, mecânico e sem beneficiamento) e a duas condições de armazenamento (10 °C e 50% de umidade relativa; e 25 °C sem controle de umidade relativa). Após o armazenamento por oito meses, os parâmetros de cor dos grãos e a qualidade fisiológica e sensorial foram avaliados. A intensidade das cores verde e azul e a luminância dos grãos de café são afetadas pelos métodos de processamento, beneficiamento e condições de armazenamento. Cafés despulpados apresentam coloração verde mais intensa em comparação aos cafés naturais. O resfriamento do ar de armazenamento de grãos de café a 10 °C propicia menores índices de luminância e da coordenada b, bem como melhor qualidade fisiológica.

**Termos para indexação:** Análise sensorial, *Coffea arabica* L., beneficiamento, processamento, qualidade de fisiológica.

## CHANGES IN THE COFFEE GRAIN COLOR RELATED TO THE POST-HARVEST OPERATIONS

**ABSTRACT:** The color evaluation of coffee grains becomes important as atypically colored coffee or different levels of whiteness will receive lower price on the market. In addition to commercial impairment, changes in color are indicative of the occurrence of oxidative processes and biochemical damage, which can alter the flavor and aroma precursors of the grains, resulting in lower beverage quality. Thus, the aim of this study is to evaluate the color characteristics in coffee grains with different levels of quality that were processed, benefited and stored under different conditions. Coffee fruits were harvested in the cherry stage and dry processed and wet processed. Grains were dried until reaching 11% moisture content and subjected to three treatments (manual hulling, mechanical hulling and without hulling), and were stored under two conditions (10°C and 50% RU; and 25°C without relative humidity control). After eight months of storing, the color parameters of the grains, the physiological and sensory quality were evaluated. The intensity of the green and blue colors and the brightness of the grains are affected by the processing and hulling methods, and storage conditions. The wet processed coffee grains have a more intense greenish color compared to the dry processed ones. Coffee grains stored under lower temperature have lower brightness indexes and “b” color parameter, as well better physiological quality.

**Index terms:** Sensory analysis, *Coffea arabica* L., hulling, processing, physiological quality.

## 1 INTRODUÇÃO

A síntese e o acúmulo dos correspondentes químicos dos precursores do sabor e aroma do café dependem de fatores genéticos, ambientais e tecnológicos (ALPIZAR; BERTRAND, 2004; FARAH et al., 2006). Para se produzir cafés de qualidade, as etapas da pós-colheita, como processamento, beneficiamento e armazenamento devem ser priorizados para se garantir a obtenção de rentabilidade na comercialização do produto (FAVARIN et al., 2004).

Trabalhos têm sido realizados para investigar a relação entre a cor dos alimentos e sua qualidade (COELHO et al., 2009; FARAONI et al., 2004; RESENDE et al., 2007; RIBEIRO et al., 2008). No caso de grãos de café, a cor pode estar relacionada com a qualidade da bebida e é um fator importante para a valorização do produto. Alterações da cor em grãos crus de café são fortes indícios da ocorrência de processos oxidativos e transformações bioquímicas enzimáticas naturais que irão alterar a composição dos precursores responsáveis pelo sabor e aroma da bebida resultando em redução da qualidade (BORÉM et al., 2013; CORRÊA et al., 2003; ISQUIERDO et al., 2011; NOBRE, 2005; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2014; RIBEIRO et al., 2011; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006).

Durante o armazenamento podem ocorrer alterações na cor dos grãos mesmo que as condições sejam adequadas (SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; SPEER; KÖLLING-SPEER, 2006), sendo que a tonalidade verde-azulada passa à marrom-clara e esbranquiçada, fenômeno este conhecido como branqueamento. A intensidade do branqueamento é função das condições do armazenamento. Fatores como danos sofridos pelo produto, luz, umidade relativa, teor de água, tempo de armazenagem e tipo de embalagem devem ser considerados (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; CORADI; BORÉM, 2009; GODINHO et al., 2000; ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; NOBRE et al., 2007; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

A presença da casca e do pergaminho nos grãos de café armazenados em coco pode ter função protetora e pode prevenir variações na cor do produto quando comparado com o armazenamento do café já beneficiado (GODINHO et al., 2000; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008). Assim, grãos de café beneficiados podem ser susceptíveis ao branqueamento durante o armazenamento em condições ambiente, sendo observadas mudanças na coloração com redução, principalmente, da intensidade das cores verde e azul com o aumento do tempo de armazenamento. Afonso Júnior e Corrêa (2003) observaram este comportamento em grãos de café independentemente do tipo de processamento empregado, se natural ou despchado. Estes autores constataram que grãos de café processados por via úmida apresentam menor variação na coloração quando comparados aos grãos obtidos por via seca, até os oito primeiros meses de armazenamento.

Grãos de café processados por via úmida possuem naturalmente coloração verde-azulada, o que é caracterizado pela redução dos valores das coordenadas cromáticas  $a$  e  $b$ , distanciando da coloração indesejável vermelho-amarelo e aproximando da coloração desejável verde-azulada (CORRÊA et al., 2002). Contudo, como o café processado por via úmida é mais susceptível à ocorrência de danos mecânicos, pode ocorrer aumento da coordenada  $L$ , a qual esta associada à luminância do grão e indica maior branqueamento em comparação aos grãos processados por via seca (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003).

Além dos danos mecânicos causados durante o processamento, o beneficiamento também pode proporcionar este tipo de dano acelerando o processo de branqueamento de grãos de café, provocando redução na qualidade, o que é também caracterizado pela desestruturação de membranas celulares e desorganização celular (AMORIM, 1978; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008).

A correlação da cor dos grãos com a qualidade da bebida de cafés armazenados em diferentes condições é ressaltada por diversos autores (CORADI; BORÉM, 2009; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; RIGUEIRA et al., 2009; SELMAR; BYTOF; KNOPP, 2008; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000). Nesses trabalhos foi constatado que a temperatura e a umidade relativa do ar de armazenagem influenciam nas alterações da coloração dos grãos de café, sendo que estas alterações são reações frequentes em locais de alta temperatura e umidade relativa.

A avaliação da cor de grãos de café de forma visual é subjetiva, uma vez que é realizada por comparações visuais do produto, podendo apresentar resultados influenciados pelo julgamento e limitações do observador. Neste contexto, torna-se importante a utilização de métodos objetivos para a avaliação da cor, como a espectrofotometria, colorimetria e análise de imagens.

Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar os parâmetros de cor de grãos de café natural e despulpado, submetidos ao beneficiamento manual e mecânico e armazenados em ambiente refrigerado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

As avaliações foram realizadas em grãos de *Coffea arabica* L. cv Catuaí Amarelo, obtidos da lavoura na Fazenda Experimental da Fundação Procafé, em Varginha, MG.

Os frutos foram colhidos no estágio de maturação cereja, por meio de colheita seletiva, os quais foram lavados para a separação de frutos chochos, mal formados, brocados e impurezas, antes de serem submetidos a dois tipos de processamentos, por via seca e via úmida. Parte dos frutos selecionados foi submetida imediatamente à secagem (café natural) e outra parte foi submetida ao descascamento mecânico e retirada da mucilagem por fermentação em água, durante 24 horas (café despulpado), antes da secagem. Os cafés foram

submetidos à pré-secagem em terreiro e em seguida secados em secador mecânico de camada fixa, sob temperatura de 35 °C na massa de grãos, até atingirem teor de água de 11%  $\pm$ 0,5 (base úmida).

Após a secagem dos grãos de café, o experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3x2, sendo dois tipos de processamento (via úmida, café natural; e via seca, café despulpado); três formas de beneficiamento (café grãos crus, beneficiado manualmente; café grãos crus, beneficiado mecanicamente; e café sem beneficiamento); e dois ambientes de armazenamento (temperatura a 10 °C e 50% de umidade relativa; e temperatura a 25 °C sem controle de umidade relativa).

Para obtenção das três formas de beneficiamento, uma parte do café natural e uma parte do café despulpado foram divididas em três lotes, sendo dois subdivididos e beneficiados antes do armazenamento, removendo-se de forma manual e mecânica os pergaminhos no café despulpado e as cascas no café natural, antes do armazenamento. Já os cafés natural e despulpado do terceiro lote foram armazenados, sendo beneficiado manualmente após o período de oito meses. Antes de serem conduzidos ao armazenamento em dois ambientes, os cafés de cada tratamento foram divididos em duas partes e acondicionados em sacos de juta. Uma parte foi armazenada em câmara fria com controle de temperatura (10 °C) e de umidade relativa (50% UR), e a outra parte em sala de armazenamento a 25 °C, sem o controle da umidade relativa.

A avaliação da cor foi realizada por meio de um colorímetro Minolta® CR 310 (iluminante C e ângulo 10°), medindo-se os parâmetros *L* (luminosidade), *a* e *b* (coordenadas de cromaticidade). Nesse sistema, *L* indica a luminosidade, que varia de zero 0, (correspondente à cor preta), até 100, (correspondente à cor branca). As coordenadas *a* e *b* indicam as direções que a cor pode assumir, valores positivos de *a*, correspondente ao vermelho e valores

negativos de  $a$ , ao verde. Já os valores positivos de  $b$  correspondem ao amarelo e valores negativos de  $b$ , ao azul, conforme descrito por Nobre (2005).

Para a avaliação do potencial fisiológico dos cafés, grãos de cada amostra foram submetidos ao teste de germinação em substrato de papel, computando-se a porcentagem de plântulas normais aos trinta dias da sementeira, de protrusão radicular aos 15 dias, plântulas com folhas cotiledonares expandidas aos quarenta e cinco dias (BRASIL, 2009) e emergência em bandeja. Para a qualidade sensorial dos cafés, a análise foi realizada conforme metodologia da *Specialty Coffee Association of America* (SCCA), seguindo o processo descrito no protocolo da SCAA (LINGLE, 2011). Os resultados das avaliações de cor foram comparados aos das avaliações da qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café. Todos os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste *Scott Knott*, de comparação de médias, ao nível de 5% de probabilidade.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados da avaliação quantitativa de cor dos grãos de café foram expressos em termos de coordenadas  $L$  (luminosidade),  $a$  e  $b$  (coordenadas de cromaticidade). Não foi verificado efeito significativo das interações entre os fatores (processamento, beneficiamento e condições de armazenamento) sobre as coordenadas  $a$  e  $L$  nos cafés após oito meses de armazenamento.

Os tipos de processamento e de beneficiamento influenciaram os valores da coordenada  $a$ , avaliada após o período de armazenamento conforme pode ser observado na Tabela 1.

**TABELA 1** Valores médios da coordenada *a* após oito meses de armazenamento dos grãos de café submetidos a diferentes tipos de processamento e de beneficiamento

Processamento	Coordenada <i>a</i>	Beneficiamento	Coordenada <i>a</i>
Despolpado	0,59 a	Mecânico	0,24 a
Natural	1,04 b	Manual	0,60 b
		Sem beneficiamento	0,98 c
CV	18,3	CV	12,32

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%.

Ao analisar o valor da coordenada *a*, deve-se levar em consideração que valores próximos de zero ou negativos tendem à cor verde nos grãos de café (coloração desejável ao produto), enquanto que valores crescentes tendem à coloração vermelha (indesejável). Observou-se que os grãos provenientes de café em pergaminho, obtidos pelo processo via úmida (café despolpado), apresentaram menores valores da coordenada cromática *a* em comparação aos grãos proveniente de café em coco (natural), obtidos no processamento por via seca, os quais apresentaram valores mais elevados (Tabela1). Este resultado indica uma aproximação da coloração verde, desejável, nos cafés despolpados. Na literatura encontram-se relatos de que grãos de café produzidos por via úmida apresentam maior intensidade das cores verde (menores valores da coordenada *a*) e azul (menores valores da coordenada *b*), o que corresponde à característica de melhor qualidade dos grãos de café (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; CORRÊA et al., 2002), quando comparados com os cafés processados por via seca.

Para os diferentes tipos de beneficiamento (Tabela 1), observou-se menor valor da coordenada *a* nos grãos de café beneficiados mecanicamente e armazenados por oito meses, em comparação aos demais tipos de beneficiamento. Apesar de encontrado na literatura que o beneficiamento mecânico pode causar danos aos grãos e sementes (ALMEIDA et al., 2004, 2006), neste estudo, o mesmo não influenciou negativamente os valores da coordenada *a* relacionada às cores verde e vermelho, nestes cafés (Tabela 1).

Pelos dados na Tabela 2 constata-se que houve interação dos fatores beneficiamento e condições de armazenamento, sobre os valores da coordenada cromática *b*.

**TABELA 2** Valores da coordenada *b* após oito meses de armazenamento dos grãos de café submetidos a diferentes tipos de beneficiamento e armazenados em diferentes condições

Beneficiamento	Temperatura de Armazenamento	Coordenada <i>b</i>
Manual	10	15,62 a
	25	17,26 b
Mecânico	10	15,28 a
	25	17,91 b
Sem beneficiamento	10	16,23 a
	25	21,37 b
CV		3,90

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%.

Observou-se que, cafés armazenados por oito meses em ambiente resfriado a 10 °C apresentaram redução da coordenada cromática *b*, o que indica

distanciamento da coloração indesejável (amarelo) e maior aproximação da coloração desejável (azul), quando comparados com os grãos armazenamento em temperatura de 25 °C, independentemente do tipo de beneficiamento utilizado. Estudos anteriores constataram que a temperatura e a umidade relativa do ambiente de armazenagem influenciam na coloração dos grãos de café, sendo menos frequentes essas alterações em grãos armazenados sob temperatura e umidade relativa mais baixa (ISMAIL; ANUAR; SHAMSUDIN, 2013; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

A coordenada *L*, relacionada à luminância dos grãos, corresponde ao maior ou menor branqueamento dos grãos e sua escala varia de 0 até 100, correspondendo ao preto e ao branco, respectivamente. De acordo com os resultados da Tabela 3, verifica-se efeito significativo da temperatura do ar de armazenamento e do tipo de beneficiamento sobre o branqueamento dos grãos.

**TABELA 3** Valores da coordenada *L* após oito meses de armazenamento dos grãos de café submetidos a diferentes tipos de beneficiamento e armazenados em diferentes condições

Beneficiamento	Coordenada <i>L</i>
Manual	46,45 a
Mecânico	49,81 b
Sem beneficiamento	50,33 b
Temperatura de Armazenamento	Coordenada <i>L</i>
10	46,98 a
25	50,74 b
CV	3,17

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%.

Com relação aos efeitos do beneficiamento, o menor índice de branqueamento foi observado nos cafés beneficiados manualmente (Tabela 3). O beneficiamento manual foi conduzido cuidadosamente, de maneira a não causar danos aos grãos, e com isso desacelerar o processo de branqueamento mesmo após o período de armazenamento.

Já nos grãos beneficiados mecanicamente o maior índice de branqueamento pode estar associado aos danos causados pela máquina beneficiadora. Bacchi (1962) considera que os danos mecânicos provocados pelo beneficiamento são possivelmente as principais causas indiretas do branqueamento dos grãos de café. O mesmo autor ressalta que grãos isentos de danos apresentam índices reduzidos ou nulos de branqueamento, enquanto que, grãos danificados apresentam maior perda da cor característica de grãos de qualidade superior. Assim, pode-se inferir que os danos mecânicos responsáveis pelo branqueamento do café contribuem para o processo de deterioração, provocando a desestruturação dos sistemas de membranas celulares, causando maior desorganização celular (AMORIM, 1978).

Por outro lado, os cafés armazenados em coco e em pergaminho (sem beneficiamento) também apresentaram mais altos índices de branqueamento, apesar de não terem sofrido danos mecânicos antes do armazenamento (Tabela 3). Este resultado pode ser devido à presença de fragmentos do espermoderma (película prateada) aderidos aos grãos, o que pode ter influenciado na leitura do aparelho, uma vez que foi observado em maior intensidade neste tratamento. Os grãos correspondentes a este tratamento foram beneficiados manualmente após o período de armazenamento, antes de serem analisados quanto aos parâmetros de cor.

Com relação aos diferentes ambientes de armazenamento, verificou-se que o resfriamento do ar ambiente de armazenamento (10 °C) resultou em menores valores da coordenada *L*, indicando menor índice de branqueamento

dos grãos armazenados por período de oito meses (Tabela 3). Resultado similar foi obtido por Vilela, Chandra e Oliveira (2000), os quais que estudaram os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar sobre os parâmetros da cor de grãos de café beneficiados. Estes autores constataram que somente quando armazenados sob temperatura de 10 °C e umidade relativa de 52 e 67%, os grãos de café não perderam a cor original, após 192 dias de armazenamento. A manutenção da cor verde dos grãos de café durante o armazenamento é extremamente importante porque as características visuais, muitas vezes, determinam a aceitação comercial (RIBEIRO et al., 2011).

Os resultados da avaliação sensorial e fisiológica de grãos de café submetidos aos diferentes processamentos, beneficiamentos e condições de armazenamento, estão representados na Tabela 4.

**TABELA 4** Resultados da análise sensorial e do potencial fisiológico de grãos de café natural e de café despulpado, submetidos a diferentes formas de beneficiamento e armazenados por oito meses em diferentes condições do ambiente

Processamento	Beneficiamento	Ambiente	SCAA <sup>(*)</sup>		Fl. Cot. <sup>(*)</sup>		E <sup>(*)</sup>
				P. R <sup>(*)</sup>		G <sup>(*)</sup>	
Despulpado	Manual	10 °C	81,50 a	94 a	89 a	92 a	84 a
		25 °C	83,00 a	0 b	0 b	0 b	0 b
	Mecânico	10 °C	83,75 a	0 a	0 a	0 a	0 a
		25 °C	80,50 b	0 a	0 a	0 a	0 a
	Sem Benef.	10 °C	82,75 a	95 a	92 a	93 a	91 a
		25 °C	83,62 a	0 a	0 b	0 b	0 b
Natural	Manual	10 °C	82,87 a	78 a	42 a	47,5 a	28 a

	25 °C	72,00 a	0 b	0 b	0 b	0 b
Mecânico	10 °C	84,12 a	0 a	0 a	0 a	0 a
	25 °C	80,25 b	0 a	0 a	0 a	0 a
	10 °C	85,00 a	78 a	62 a	56,5 a	37 a
Sem Benef.	25 °C	84,25 a	63 b	0 b	0 b	0 b
	CV	1,91	7,77	16,1	14,81	22,79

Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada processamento e beneficiamento, não diferem entre as temperaturas do ar ambiente, pelo teste de Scott Knott a 5%.

(\*) Nota SCAA (SCAA), porcentagem de folhas cotiledonares expandidas (Fl. Cot.), de Protrusão Radicular (P. R.), de Germinação (G) e de Emergência (E).

De modo geral, os cafés que apresentaram menores valores das coordenadas *L*, ou seja, menor nível de branqueamento (Tabela 3) em relação às condições de armazenamento, também apresentaram melhores resultados nas avaliações de qualidade fisiológica e sensorial (Tabela 4). A coloração do grão de café é um fator importante na valorização do produto. Alterações na cor indicam ocorrência de processos oxidativos e de transformações bioquímicas de natureza enzimática, que irão influenciar negativamente o sabor e aroma da bebida (BORÉM et al., 2013; ISQUIERDO et al., 2011; RENDÓN; SALVA; BRAGAGNOLO, 2014; RIBEIRO et al., 2011).

Pelos resultados das notas finais da análise sensorial, observou-se que para os cafés despulpados, aqueles submetidos ao beneficiamento mecânico e armazenados a 25 °C apresentaram notas finais inferiores. Com relação aos cafés naturais, observou-se efeito da temperatura nos cafés armazenados beneficiados (manual e mecânico). Quando armazenados em ambiente refrigerado, estes grãos obtiveram notas finais superiores. Já nos cafés armazenados em coco ou

em pergaminho, independentemente do método de processamento, não foi observado efeito da temperatura de armazenamento na qualidade sensorial.

Pela avaliação do vigor dos grãos, por meio da porcentagem de protrusão radicular e de plântulas com folhas cotiledonares expandidas (Tabela 4) observou-se que a temperatura do ambiente de armazenamento e o tipo de beneficiamento interferiram na qualidade fisiológica dos grãos de café. De forma geral, os grãos armazenados em temperatura de 10 °C, sem beneficiamento e armazenados após beneficiamento manual, apresentaram maiores índices de vigor, quando comparados aos cafés armazenados em ambiente com temperatura de 25 °C. Considerando os efeitos do método de beneficiamento, observou-se que os grãos beneficiados mecanicamente perderam a qualidade fisiológica, apresentando ao final do período de armazenamento, valores nulos de vigor. Pelos resultados do teste de germinação e de emergência, também foi observado efeito positivo do resfriamento do ambiente no armazenamento de grãos de café.

Melhores resultados de germinação e de emergência foram observados nos cafés armazenados em temperatura de 10 °C, independentemente do tipo de processamento (Tabela 4). De acordo com esses resultados observa-se mesma tendência dos observados na avaliação da coloração na coordenada cromática *b* (Tabela 2), onde os cafés armazenados em ambiente com temperatura do ar de 10 °C apresentaram redução da coordenada cromática *b*, indicando aproximação da coloração desejável azul e distanciamento da coloração amarela indesejável. Além disso, os resultados também estão de acordo com os encontrados para os valores da coordenada *L* (Tabela 3), em que se observou o efeito positivo do resfriamento do ambiente durante o armazenamento, com menores valores da coordenada *L* para os cafés armazenados a 10 °C, indicando menor nível de branqueamento.

Comparando-se os diferentes tipos de beneficiamento (Tabela 4), detectou-se que o beneficiamento mecânico prejudicou a viabilidade das sementes, independentemente da temperatura de armazenamento, com valores nulos de germinação e de emergência, após oito meses de armazenamento.

Resultados dos testes fisiológicos e os parâmetros da avaliação da cor dos grãos refletem simultaneamente a redução da qualidade do café, resultante do processo de deterioração. Já os resultados da avaliação sensorial não refletem o grau de deterioração dos grãos de café ocorrido no período de armazenamento e verificado por meio das análises fisiológicas. Assim, pelos resultados obtidos pode-se afirmar que as avaliações do desempenho fisiológico dos grãos, por meio dos testes de germinação e de vigor (Tabela 4) são mais sensíveis em detectar a redução da qualidade dos grãos quando comparado aos resultados da análise sensorial pela prova de xícara.

#### **4 CONCLUSÕES**

A intensidade das cores verde e azul e a luminância dos grãos de café são afetadas pelos métodos de processamento, beneficiamento e condições de armazenamento.

Cafés despulpados apresentam coloração verde mais intensa em comparação aos cafés naturais.

O resfriamento do ar de armazenamento de grãos de café a 10 °C propicia menores índices de luminância e da coordenada b, bem como melhor qualidade fisiológica.

## **5 AGRADECIMENTOS**

Á FAPEMIG, CNPq e Consórcio Pesquisa Café, pelo apoio financeiro nas pesquisas.

## REFERÊNCIAS

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**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, dez. 2003.

ALMEIDA, F. A. C. et al. Avaliação de danos mecânicos em sementes de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 12, p. 217-221, 2006.

ALMEIDA, F. A. C. et al. Danos mecânicos em sementes de feijão *Vigna*, causados pelas operações na unidade de beneficiamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.254-259, 2004.

ALPIZAR, E.; BERTRAND, B. Incidence of elevation on chemical composition and beverage quality of coffee in Central America. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceeding...**Bangalore: Asic, 2004. 1 CDROM.

AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. 1978. 85 p. Tese (Livre Docência em Bioquímica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1978.

BACCHI, O. O branqueamento dos grãos de café. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 28, p. 467-468, 1962.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análises de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

COELHO, S. R. M. et al. Alterações na cor do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante o armazenamento utilizando software para reconhecimento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 49-57, 2009.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M. Alterações dos parâmetros físico químicos na qualidade de bebida do café natural e despulpado em função de diferentes tipos de secagem e condição de armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 11, p. 54-63, 2009. Edição Especial Café.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, abr. 2008.

CORRÊA, P. C. et al. Efeito da temperatura de secagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 5, p. 22-27, 2002. Edição Especial Café.

CORRÊA, P. C. et al. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante o armazenamento em condições adversas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 7, p. 136-147, 2003. Edição Especial Café.

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

FARONI, L. R. D. et al. Influência do teor umidade de colheita na qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 69-75, 2004.

FAVARIN, J.L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cerejeja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, 2004.

GODINHO, R. P. et al. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 38-43, 2000. Edição Especial.

ISMAIL, I.; ANUAR, M.S.; SHAMSUDIN, R. Effect on the physico-chemical properties of liberica green coffee beans under ambient storage. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 20, n. 1, p. 255–264, 2013.

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

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of Coffee's Flavor. 7th ed. Long Beach California: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 135 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

NOBRE, G. W. et al. Alterações químicas do café-cereja descascado durante o armazenamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2007.

RENDÓN, M. Y.; SALVA, T. J. G.; BRAGAGNOLO, N. Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. **Food Chemistry**, Oxford, v. 147, p. 279- 286, 2013.

RESENDE, O. et al. Avaliação da qualidade tecnológica e protéica do feijão durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 1-13, 2007.

RIBEIRO, D. M. et al. Cinética dos índices de cor e da textura da banana “prata-anã” durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 83-93, 2008.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO<sub>2</sub>. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 47, p. 341-348, 2011.

RIGUEIRA, R. J. A. et al. Armazenamento de grãos de café cereja descascado em ambiente refrigerado. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 4, p. 323-333, 2009.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E. The storage of green coffee (*Coffea arabica*): Decrease of viability and changes of potential aroma precursors. **Annals of Botany**, London, v. 101, p. 31-38, 2008.

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

VILELA, E. R.; CHANDRA, P. K.; OLIVEIRA, G. A. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 1, p. 31-37, 2000. Edição Especial.