

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS
ASSOCIADOS À QUALIDADE DA BEBIDA
DE CAFÉ SUBMETIDO A DIFERENTES
MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E
SECAGEM**

JOSÉ HENRIQUE DA SILVA TAVEIRA

2009

JOSÉ HENRIQUE DA SILVA TAVEIRA

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS À
QUALIDADE DA BEBIDA DE CAFÉ SUBMETIDO A DIFERENTES
MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Strictu-Sensu em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Flávio Meira Borém

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2009

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

Taveira, José Henrique da Silva.

Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade de
bebida dos grãos de café submetidos à diferentes processamentos e
secagem / José Henrique da Silva Taveira. – Lavras : UFLA, 2009.
67 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Flávio Meira Borém.

Bibliografia.

1. Café. 2. Qualidade. 3. Processamento. 4. Secagem. 5.
Fisiologia. 6. Química. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.73

JOSÉ HENRIQUE DA SILVA TAVEIRA

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS ASSOCIADOS À
QUALIDADE DA BEBIDA DE CAFÉ SUBMETIDO A DIFERENTES
MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Strictu-Sensu em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2009

Pesq. Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa Embrapa Café

Pesq. Dr. Gerson Silva Giomo IAC

Prof. Dr. Luciano Villela Paiva UFLA

Prof. Dr. Flávio Meira Borém
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2009

Aos meus pais, José Balde Taveira e Olívia Izabel da Silva Taveira

Aos meus irmãos Márcio, Denise, Elaine, Jaqueline e Vânia

DEDICO

“Com Tua mão, ó meu Senhor,
Segura a minha
Pois não me atrevo a um passo só
Sem Teu amparo, sem Teu apoio
Não darei, eu só iria fraquejar
Eu andaria a vacilar
Sem Tua mão a me sustentar
Mas se Tua mão me segurar
Eu correrei até voar
Subirei apoiado em Ti”

A Deus

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais José Balde e Olívia Izabel pelo incentivo, amor e apoio.

Ao professor Flávio Borém pela orientação, amizade, confiança e contribuições durante o curso.

Aos pesquisadores Sttela e Gerson, pela disponibilidade em co-orientar o presente trabalho, participando de forma fundamental e contribuindo muito para sua conclusão.

Ao professor Jefferson do Departamento de Ciência dos Alimentos, pelo seu interesse em sempre ajudar no desenvolvimento da presente pesquisa.

Aos bolsistas de iniciação científica Willie e Valquíria, e estagiários Ivan, Bruno, Mariela, Letícia, Samuel pela presença constante e ajuda fundamental durante a realização do trabalho.

Aos colegas Pedro, Éder, Gerson, Luiza e Fabiana pela contribuição durante o trabalho.

A colega e sempre presente amiga Reni Saath, por não medir esforços na ajuda profissional e pessoal durante a minha vida.

Ao professor Renato Lima, pelas contribuições nas análises estatísticas.

Ao laboratorista Samuel e ao amigo Edson, pela dedicação na realização das análises químicas do café.

À professora Édila, pela disponibilidade em ajudar na discussão dos resultados.

Ao setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, por ceder a matéria-prima para a realização do trabalho.

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

Aos amigos Vico, Régis, André e Davi pela amizade e convivência.

A família do Ministério Universidades Renovadas pelo apoio, carinho e presença em minha caminhada junto a Deus.

Aos funcionários do Pólo de Tecnologia em Pós-colheita do Café José Maurício e Magno, pelo preparo da matéria-prima e auxílio na montagem do experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais-FAPEMIG, pelo financiamento do projeto que resultou nesta dissertação.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1: Composição química, qualidade da bebida e qualidade fisiológica de grãos de café submetidos à diferentes formas de processamento e secagem.....	1
Resumo	2
Abstract.....	3
1 Introdução	4
2 Material e Métodos	7
2.1 Procedimento experimental	7
2.2 Processamento via seca.....	7
2.3 Processamento via úmida.....	7
2.4 Secagem em terreiro	8
2.5 Secagem em secador.....	8
2.6 Caracterização da qualidade do café.....	11
2.6.1 Análise sensorial	11
2.6.2 Açúcares totais, redutores e não-redutores	12
2.6.3 Acidez titulável total.....	12
2.6.4 Polifenóis	12
2.6.5 Análises fisiológicas	13
2.6.5.1 Teste de germinação	13
2.6.5.2 Primeira contagem da germinação.....	13
2.6.5.3 Teste de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE).....	13
2.6.5.4 Folhas cotiledonares abertas	14
2.6.5.5 Condutividade elétrica	14
2.6.5.6 Lixiviação de potássio	15
2.7 Análise estatística	15

3 Resultados e Discussão	16
3.1 Condições de secagem	16
3.2 Análise sensorial	16
3.3 Análises químicas	17
3.4 Análises fisiológicas	21
4 Conclusões	27
5 Referências Bibliográficas	28
CAPÍTULO 2: Perfis protéicos de grãos de café submetidos à diferentes formas de processamento e secagem	33
Resumo	34
Abstract	35
1 Introdução	36
2 Material e Métodos	40
2.1 Procedimento experimental	40
2.2 Processamento via seca	40
2.3 Processamento via úmida	40
2.4 Secagem em terreiro	41
2.5 Secagem em secador	41
2.6 Preparação das amostras	43
2.7 Eletroforese de lea proteína	43
2.8 Eletroforese de isoenzimas	44
3 Resultados e Discussões	45
3.1 Eletroforese de lea proteínas	45
3.2 Eletroforese de isoenzimas	47
4 Conclusões	57
5 Referências Bibliográficas	58
CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

RESUMO

TAVEIRA, José Henrique da Silva. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade de bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem.** 2009. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

Objetivou-se no presente trabalho, avaliar a qualidade sensorial e fisiológica dos grãos de café processados e secados de diferentes formas, bem como a identificação de marcadores bioquímicos capazes de diferenciar esses procedimentos pós-colheita. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e três métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 60°C até o café atingir 11%±1% (bu), e ar aquecido a 60°C até o café atingir 30%±2% (bu), com complementação da secagem a 40°C até atingir 11%±1% (bu). O sistema mecânico de secagem utilizado constituiu-se de um secador acoplado a um condicionador de ar, o qual permite o controle da temperatura, umidade relativa e fluxo. Após a aplicação dos tratamentos, os cafés foram degustados segundo o sistema de avaliação proposto pela SCAA, Associação Americana de Cafés Especiais. Além da análise sensorial foram feitas as análises da composição química e qualidade fisiológica. As análises da composição química envolveram teor de açúcares, acidez titulável total e compostos fenólicos. E as análises fisiológicas foram as seguintes: lixiviação de potássio, condutividade elétrica, germinação, teste de velocidade de emergência e análise eletroforética das proteínas *lea* e as isoenzimas: superoxidodismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (PO), esterase (EST), polifenoloxidase (PPO), isocitradodesidrogenase (IDH), alcool desidrogenase (ADH) e malato desidrogenase (MDH). Foram obtidos resultados interessantes, mostrando que o café despulpado é mais tolerante à secagem do que o café natural, independente da forma com que foi seco, apresentando melhor qualidade fisiológica. E ainda pode-se observar que a elevação da temperatura de secagem promove danos aos grãos, os quais reduzem sensivelmente a qualidade da bebida, confirmando pesquisas já existentes. Com relação aos perfis eletroforéticos, pôde-se constatar que são ferramentas promissoras na diferenciação dos tratamentos aplicados,

* Comitê orientador: Prof. Dr. Flávio Meira Borém – DEG – UFLA (Orientador); Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa – DCA – UFLA (Coorientador); Pesquisadora Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa – Embrapa Café (Coorientadora); Pesquisador Dr. Gerson Silva Giomo – IAC (Coorientador)

além de identificarem várias transformações bioquímicas nos grãos, durante os procedimentos pós-colheita.

ABSTRACT

TAVEIRA, José Henrique da Silva. **Physiological and biochemical aspects associated with the quality of the coffee beverage submitted to different processing and drying methods**. 2009. 67 p. Dissertation (Master in Food Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

The objective of this work was to evaluate the cup and physiological quality of coffee grains processed and dried in different ways, and to identify biochemical markers capable of distinguishing between these post-harvest procedures. The experiment was carried out using two processing methods, dry and wet, and three drying methods: solar drying on the ground, mechanical drying with heated air at 60°C until the coffee reached 11%±1% of moisture content in wet base (wb), and heated air at 60°C until the coffee reached 30%±2%(wb), complemented by drying with heated air at 40°C until the coffee reached 11%±(wb). The mechanical apparatus used was composed of a dryer coupled to a high precision air conditioner, which allows for temperature, relative humidity and flow control. After the treatments, the coffee grains were evaluated according to the evaluation system proposed by the Specialty Coffee Association of American (SCAA).

The chemical composition and physiological quality of the coffee were also analyzed in this experiment. The chemical analyses involved sugar content, total titratable acidity and phenolic compounds. The physiological analyses included: potassium leaching, electrical conductivity, germinating percentage, emerging speed and eletrophoretical analyses of late embryogenic proteins and the isozyme activity (SOD, CAT, PO, EST, PPO, IDH, ADH and MDH). Some interesting results were obtained which show that washed coffee is more resistant to drying than natural coffee, regardless of the drying method, and presents a higher physiological quality. It was also observed that higher drying temperatures lead to several damages in the coffee grains, which reduces significantly the cup quality, corroborating the results of previous studies. The electrophoretical profiles were considered promising tools to differentiate the applied treatments, demonstrating also a capacity of identifying several biochemical changes in the coffee grains during the post-harvest procedures.

*Guidance Committee: Prof. Dr. Flávio Meira Borém – DEG – UFLA (Adviser); Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa – DCA – UFLA (Co-adviser); Researcher. PhD. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa – Embrapa Café (Co-adviser); Researcher. Dr. Gerson Silva Giomo – IAC (Co-adviser)

CAPÍTULO 1

O Capítulo 1 será transcrito em formato de artigo e encaminhado para submissão ao Periódico Científico Annals of Botany.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, QUALIDADE DE BEBIDA E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE GRÃOS DE CAFÉ SUBMETIDOS À DIFERENTES FORMAS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM

José Henrique da Silva Taveira¹, Flávio Meira Borém, Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa, Pedro Damasceno de Oliveira

¹Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil; e-mail: henriquetaveira@yahoo.com.br

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelos auxílios concedidos para a realização do presente trabalho.

RESUMO

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, QUALIDADE DE BEBIDA E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE GRÃOS DE CAFÉ SUBMETIDOS À DIFERENTES FORMAS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM

A composição química, fisiologia dos grãos de café e sua qualidade final são determinadas pelos procedimentos pós-colheita. Pesquisas recentes têm indicado várias alterações na integridade das membranas, processo de germinação, conteúdo de ácidos e açúcares, devido ao estresse provocado aos grãos, ao longo do processamento e secagem. Para a manutenção da qualidade, faz-se necessário o conhecimento dessas alterações provocadas pela pós-colheita tão logo elas ocorrem. Portanto, a qualidade sensorial, composição química e alterações fisiológicas foram analisadas após o processamento e secagem dos grãos. O café foi processado via seca e via úmida, e ambos foram secos em terreiro, a 60°C e a 60/40°C. A qualidade sensorial dos grãos foi avaliada pela metodologia da SCAA, Associação Americana de Cafés Especiais. As análises químicas realizadas correspondem ao conteúdo de açúcares, acidez titulável total e compostos fenólicos. E as análises fisiológicas foram compostas pelos testes de germinação, índice de velocidade de emergência, condutividade elétrica e lixiviação de potássio. A temperatura do ar de secagem alterou sensivelmente a qualidade sensorial dos grãos do café. Pode ser observado que os tipos de processamento associado à secagem causam várias alterações fisiológicas, principalmente no café natural, processado via seca, o qual sofre maiores danos. O tratamento com ar aquecido à 60/40°C deu bons indícios de utilização dessa nova técnica para o café despolpado, o qual mostrou-se mais tolerante à secagem. E o uso de testes fisiológicos se mostrou como ferramenta promissora na avaliação da qualidade dos grãos de café. O tipo de secagem que proporciona melhor qualidade fisiológica aos grãos também proporciona melhor qualidade de bebida. O café despolpado apresenta melhor qualidade fisiológica do que o café natural independente do tipo de secagem. A secagem a 60°C é imprópria tanto para o café natural quanto para o café despolpado.

ABSTRACT

CHEMICAL COMPOSITION, QUALITY OF THE BEVERAGE AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF COFFEE GRAINS SUBMITTED TO DIFFERENT DRYING AND PROCESSING METHODS

The chemical composition, physiology and final quality of coffee grains are determined by post-harvest procedures. Recent studies have shown several alterations in the integrity of the membranes, germinating process and sugar and acid content of coffee grains due to stress during processing and drying. To preserve the coffee's quality, it is necessary to understand these alterations in the post-harvest stage as soon as they occur. Therefore, the sensorial quality, chemical composition and physiological alterations of coffee grains were analyzed after they were processed and dried. The coffee was processed in the dry and wet methods and dried on the ground and using air heated at 60°C and at 60/40°C. The sensorial quality of the grains was evaluated according to the Specialty Coffee Association of American (SCAA). The chemical analyses included sugar content, total titratable acidity and phenolic compounds. The physiological analyses included germinating percentage, emerging speed, electrical conductivity and potassium leaching. The drying temperature altered significantly the sensorial quality of the coffee grains. The processing methods associated to drying led to several physiological alterations, especially in natural coffee which, processed in the dry way, suffered greater damages. The treatment using air heated at 60/40°C presented good results when applied to washed coffee, which was more resistant to drying. It was observed that physiological testing is a promising tool to evaluate coffee quality. The type of drying that yields a higher physiological quality in the grains also yields a higher beverage quality. The washed coffee presented a higher physiological quality than the natural coffee, regardless of the type of drying. Drying at 60°C is unsuitable for both natural and washed coffee.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos de grande importância no agronegócio mundial. De acordo com a International Coffee Organization, ICO (2008), o consumo de café cru foi da ordem de 130,7 milhões de sacas podendo chegar a 140 milhões em 4 ou 5 anos. A qualidade do café é determinada principalmente pelo sabor e aroma formados durante a torração. De acordo com Flament (2002), aproximadamente 300 compostos químicos presentes no grão cru originam mais ou menos 850 compostos após a torração. Porém, a presença desses precursores depende de fatores genéticos, ambientais e tecnológicos (Alpizar & Bertrand, 2004; Farah et al., 2006). Outros fatores como os procedimentos pós-colheita, processamento e secagem do café também interferem na qualidade do produto (Leloup et al., 2004; Borém, 2008).

Existem dois métodos de processamento para o café: a via seca e a via úmida. No processamento via úmida, podem ser produzidos três tipos de café. Os cafés descascados, dos quais a mucilagem remanescente do descascamento não é removida dos grãos; os cafés despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente e a mucilagem remanescente é removida por fermentação; e os desmucilados, aqueles em que a mucilagem é removida mecanicamente. No processamento via seca, os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo.

A composição química do café cru depende da forma de processamento utilizada (Bytof et al., 2005; Knopp et al., 2006; Borém, 2008), apresentando características distintas na qualidade. Geralmente, os cafés naturais originam bebidas mais encorpadas e doces, em relação aos cafés despulpados, os quais possuem acidez mais desejável (Illy & Viani, 1995). Os açúcares contribuem com a doçura da bebida, sendo considerado um dos atributos do sabor mais desejável nos cafés especiais e participam de importantes reações químicas

como a reação de Maillard, originando compostos responsáveis pela formação da cor, do sabor e do aroma peculiar da bebida (Sivetz, 1963; Santos, 2005). Vários estudos indicam que as operações pós-colheita também exercem influência no teor de açúcares (Pereira et al., 2002; Marques et al., 2008).

Os principais compostos fenólicos encontrados no café estão na forma de ácidos clorogênicos (CGA) (Farah et al., 2005). Além de contribuírem para o sabor e aroma da bebida, os ácidos clorogênicos apresentam potenciais benefícios à saúde humana. No entanto, a presença de CGA em quantidades elevadas aumenta a adstringência do sabor do café, contribuindo para a desvalorização do produto (Clifford, 1999).

A acidez em grãos de café tem sido apontada como um bom indicativo da qualidade do produto. Os valores de acidez titulável total do café processado por via seca são descritos significativamente maiores quando comparados aos valores obtidos para os cafés descascados, desmucilado e despulpado (Leite, 1991; Villela, 2002).

O método de avaliação sensorial da Specialty Coffee Association of América, SCAA (2008) tem se destacado para avaliação da qualidade da bebida dos cafés especiais. Esse método baseia-se em uma análise sensorial descritiva quantitativa da bebida, realizada por uma equipe de julgadores selecionada e treinada, fazendo uso da escala não estruturada de 6 a 10 para a avaliação da fragrância do pó, aroma, defeitos, acidez, amargor, sabor, sabor residual, adstringência e corpo da bebida, com avaliação final da qualidade global e qualidade do café conforme terminologia apresentada por Lingle (1986).

A avaliação fisiológica dos grãos de café pode se tornar uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade de sua bebida. Selmar et al. (2004) e Bytof et al. (2007) observaram alterações bioquímicas durante o processamento relacionadas ao metabolismo da germinação, cuja extensão depende do tratamento, se via úmida ou via seca. Esses autores, no entanto, não fizeram

correlação com métodos de secagem. A secagem do café, se mal conduzida, pode intensificar a degradação de membranas celulares, o que pode ser indicada com consistência pelos testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica (Amorim, 1978; Prete, 1992). Os grãos com membranas mal estruturadas, desorganizadas e danificadas lixiviam maior quantidade de solutos, apresentando maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio (Krzyzanowsky et al., 1991), indicando perda de qualidade (Prete, 1992; Pimenta et al., 2000). Marques et al. (2008) e Borém et al. (2008b), mostraram maiores danos no sistema de membranas celulares dos grãos com o aumento da temperatura de secagem.

Altas taxas de secagem provocadas por elevadas temperaturas podem causar prejuízos à qualidade do café devido aos danos causados às membranas celulares (Marques et al., 2008; Borém et al., 2008b). No entanto, Borém et al. (2008b) verificaram que as membranas celulares dos grãos foram danificadas somente entre os teores de água de 30% e 20% (bu), quando o café natural e despulpado foram secados com temperatura de 60°C. Sendo assim, uma tecnologia de secagem que envolva a utilização de altas temperaturas no início da secagem seguida por temperaturas mais baixas, pode se tornar promissora, tendo em vista o menor tempo de exposição do produto à secagem, e auxiliariam no processo de produção e manutenção da qualidade do café.

A análise fisiológica do café durante a pós-colheita poderá auxiliar na elucidação dos eventos que ocorrem nos grãos durante essas etapas, as quais resultarão em diferentes composições químicas e, portanto, em diferentes qualidades de bebida.

Objetivou-se no presente trabalho, avaliar os efeitos de diferentes métodos de processamento e de secagem sobre qualidade fisiológica e composição química de grãos de café, analisando a sua inter-relação com a qualidade da bebida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com café cereja (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí vermelho 99), colhido na Universidade Federal de Lavras, UFLA. Os frutos colhidos foram levados ao Pólo em Tecnologia Pós-colheita do Café para serem processados por via seca e via úmida. Após o processamento, o café foi secado em três condições diferentes: no terreiro e em secador, sob temperatura do ar de secagem de 60°C e de 60/40°C. Terminada a secagem, foram procedidas as análises químicas e sensorial no Laboratório do Pólo de Tecnologia Pós-colheita e as análises fisiológicas no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras.

2.2 Processamento via seca

Para o processamento do café via seca, que produz os cafés naturais, os frutos foram lavados e separados, hidraulicamente, por diferença de densidade para a remoção dos frutos bóia e secos presentes na parcela. Em seguida, os frutos maduros foram mais uma vez selecionados manualmente, para garantir a uniformidade da amostra com relação ao estágio de maturação. Após esse procedimento, o café natural foi conduzido ao terreiro para o período de pré-secagem.

2.3 Processamento via úmida

Para o processamento do café via úmida, que produz os cafés despulpados, os frutos maduros, provenientes de colheita seletiva, foram mais uma vez selecionados manualmente e descascados mecanicamente. Após o descascamento, o café foi submetido à fermentação em água para a remoção da mucilagem, em condições ambiente (temperatura média de 22°C) por 20h.

Quando a mucilagem foi totalmente removida, o café em pergaminho foi lavado e submetido à pré-secagem em terreiro.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento, o café permaneceu sob condições ambiente, sendo manejados de acordo com a metodologia proposta por Borém et al. (2008a). A temperatura ambiente no terreiro, durante o período de secagem, variou de 10 a 28°C e a umidade relativa (UR) de 34,5 a 61,2%, no período das 9:00h às 15:00h, essas condições foram monitoradas com termo-higrógrafo. Tanto o café natural quanto o café despulpado permaneceram sob essas condições até atingirem o teor de água de 11% (bu).

2.5 Secagem em secador

As parcelas destinadas à secagem mecânica passaram por um período de pré-secagem para minimizar as diferenças no teor de água inicial entre os cafés natural e despulpado. Esse período foi de dois dias para o café natural e de um dia para o café despulpado, devido à remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento por via úmida, resultando, conseqüentemente, grãos de café com menor teor de água inicial em comparação ao café natural.

Após o período de pré-secagem, as parcelas foram conduzidas ao secador (Figura 1) de camada fixa de 0,15m, acoplado a um condicionador de ar de alta precisão, modelo proposto por Fortes et al. (2006), o qual permite o controle do fluxo, da temperatura (T) e da umidade relativa (UR) do ar de secagem com precisão, através de um painel eletrônico. O aparelho experimental também permite a recirculação do ar de secagem, ou seja, após passar pela camada de grãos esse ar retorna à câmara de condicionamento onde é recolocado nas condições pré-determinadas de temperatura e umidade relativa.

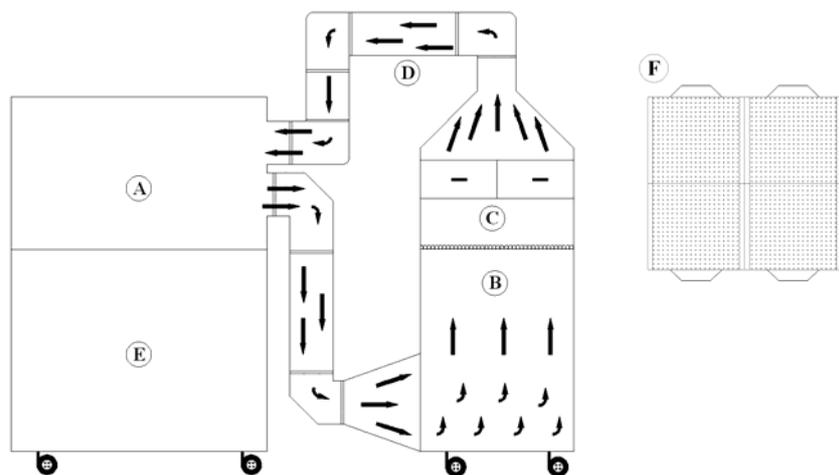


FIGURA 1 Esquema do aparelho usado para a secagem mecânica do café: (A) câmara de condicionamento do ar; (B) plenum; (C) câmara de secagem; (D) Sistema de recirculação do ar; (E) sistema elétrico, motor e ventilador; (F) gavetas removíveis da câmara de secagem.

O fluxo do ar foi controlado a $20\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{m}^{-2}$, correspondendo a uma velocidade de $0,33\text{m}.\text{s}^{-1}$ (Agullo & Marenha, 2005). Simulando uma condição ambiental média constante durante todo o período de secagem nesta época do ano, quando o ar ambiente é aquecido a 40°C , permanecendo com UR de 19% e o ar aquecido a 60°C com UR de 7%; os valores de temperatura e UR foram controlados nessas condições.

A parcela que recebeu o tratamento com ar aquecido a 60°C permaneceu no secador até o café atingir o teor de água de $11\% \pm 0,5\%$ (bu). E o tratamento com ar aquecido a $60/40^\circ\text{C}$ foi aplicado da seguinte forma: 60°C até teor de água de 30% (bu) e 40°C até atingir 11% (bu).

O controle do teor de água dos grãos durante a secagem foi feito a partir do teor de água inicial do café proveniente do terreiro, o qual tornou possível o

monitoramento da variação de massa nas respectivas amostras. O teor de água do café foi determinado pelo método padrão ISO 6673 (International Organization for Standardization, ISO, 2003).

Para determinar o momento de transição da temperatura do ar de 60°C para 40°C, cada gaveta contendo a parcela experimental foi pesada a cada 30 minutos, e o teor de água foi determinado por diferença de massa aplicando-se as equações 1 e 2. Quando cada gaveta atingiu a massa relativa ao teor de água de 30%±2% bu, a temperatura foi mudada de 60°C para 40°C, permanecendo em 40°C até o café atingir 11% (bu).

$$M_f = M_i - (M_i * PQ / 100) \quad \text{equação (1)}$$

$$PQ = [(U_i - U_f) / (100 - U_f)] * 100 \quad \text{equação (2)}$$

em que:

M_f: massa final (kg);

M_i: massa inicial (kg);

PQ: porcentagem de quebra (%);

U_i: teor de água inicial (% bu);

U_f: teor de água final (% bu).

A taxa de redução de água foi obtida por meio da equação 3.

$$TRA = (TA_0 - TA_{at}) / (t_{at} - t_0) \quad \text{equação (3)}$$

em que:

TRA: taxa de redução de água (kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹);

TA₀: teor de água anterior (kg H₂O.kg café⁻¹);

TA_{at}: teor de água atual (kg H₂O.kg café⁻¹);

t_{at}: tempo total de secagem atual (horas);

t_0 : tempo total de secagem anterior (horas).

2.6 Caracterização da qualidade do café

A análise sensorial e as análises químicas foram realizadas no Pólo de Tecnologia em Qualidade do Café da Universidade Federal de Lavras. Para as análises químicas foram utilizadas três subamostras de cada parcela experimental, correspondentes aos respectivos tratamentos. As análises químicas e sensoriais foram realizadas nas porções das amostras de grãos classificados em peneira 16 acima, com descarte de grãos mocas e grãos defeituosos.

2.6.1 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada por três Juízes Certificados de Cafés Especiais (SCAA Certified Cupping Judges). Foi utilizado o protocolo de análise sensorial da Associação Americana de Cafés Especiais, de acordo com a metodologia proposta por Lingle (1986), para avaliação sensorial de cafés especiais, com atribuição de notas, no intervalo de 6 a 10 pontos para fragrância/aroma, acidez, corpo, sabor, sabor residual, doçura, uniformidade, xícara limpa, balanço e impressão global. Foi utilizada torra moderadamente leve, com coloração correspondente a 58 pontos da escala Agtron, para o grão inteiro, e 63 pontos para o grão moído, com tolerância de ± 1 ponto. Para obtenção do ponto de torra ideal foi feita a padronização das amostras quanto ao peso (100 g) e tamanho dos grãos (peneira 16 e acima), bem como o monitoramento da temperatura e tempo de torra (entre 8 e 12 minutos).

Em cada avaliação sensorial foram degustadas cinco xícaras de café representativas de cada amostra, realizando-se uma sessão de análise sensorial para cada repetição, totalizando três repetições para cada tratamento. Por

apresentarem características sensoriais distintas, a análise sensorial dos cafés naturais e despolpados foi realizada separadamente, tendo em vista minimizar possíveis interferências, negativas ou positivas. Os resultados finais da avaliação sensorial foram constituídos pela soma de todos os atributos.

2.6.2 Açúcares totais, redutores e não-redutores

Os açúcares totais e redutores foram extraídos pelo método de Lane-Enyon, citado pela Association of Official Analytical Chemists, AOAC (1990) e determinado pela técnica de Somogy, adaptada por Nelson (1944). Os açúcares não-redutores foram determinados pela diferença entre os açúcares totais e os redutores.

2.6.3 Acidez titulável total

A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1N, adaptando-se à metodologia citada pela AOAC (1990). Foram pesados dois gramas da amostra de café moído e adicionado 50mL de água destilada, agitando-se por uma hora. Em seguida, realizou-se a filtragem em papel de filtro e retiram-se 5 mL da solução filtrada, colocando-a em um erlenmeyer, com cerca de 50 mL de água destilada. Acrescentaram-se três gotas de fenolftaleína e, em seguida, titulou-se até a viragem com NaOH 0,1N. O resultado foi expresso em ml de NaOH 0,1N, por 100g de amostra.

2.6.4 Polifenóis

Os polifenóis foram extraídos pelo método de Goldstein & Swain (1963), utilizando como extrator o metanol 80% (U/V) e identificados de acordo com o método de Folin Denis, descrito pela AOAC (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem na matéria seca.

2.6.5 Análises fisiológicas

As análises fisiológicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Para as análises fisiológicas foram utilizadas quatro subamostras de grãos sem defeitos aparentes, para cada repetição dos respectivos tratamentos.

2.6.5.1 Teste de germinação

Foi realizado com quatro subamostras de 50 sementes, distribuídas em papel-toalha umedecido com quantidade de água equivalente a duas vezes e meia a massa do substrato seco e, colocadas para germinar à temperatura de 30°C. As avaliações foram realizadas aos trinta dias após a semeadura, segundo as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992), e os resultados expressos em porcentagem.

2.6.5.2 Primeira contagem da germinação

Foi realizada juntamente com o teste de germinação, sendo a contagem feita aos quinze dias do início do teste. Foram computadas como plântulas normais segundo as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992), as sementes que apresentavam raiz principal e pelo menos duas raízes laterais, com os resultados expressos em porcentagem.

2.6.5.3 Teste de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE)

Foram semeadas quatro subamostras de 50 sementes, para cada tratamento, em bandejas plásticas contendo mistura de areia e terra, na proporção de 2:1. As bandejas foram mantidas em câmara de crescimento,

previamente regulada à temperatura de 30°C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). As bandejas foram irrigadas quando necessário e, a partir do início da emergência, foram computadas as plântulas emergidas diariamente, até a estabilização, com os resultados expressos em porcentagem de emergência final. O IVE foi calculado segundo a fórmula proposta por Maguire (1962), utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{IVE} = \frac{G_1}{T_1} + \frac{G_2}{T_2} + \dots + \frac{G_n}{T_n} \quad \text{equação (4)}$$

Em que:

IVE: índice de velocidade de emergência;

G: número de plântulas emergidas a cada dia;

T: número de dias da semeadura até a respectiva contagem.

2.6.5.4 Folhas cotiledonares abertas (orelha de onça)

Ao final do teste de emergência foram computadas as plântulas que apresentavam as folhas cotiledonares totalmente expandidas (estádio orelha-de-onça) e os resultados foram expressos em porcentagem.

2.6.5.5 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos grãos crus foi determinada adaptando-se a metodologia proposta por Krzyzanowski et al. (1991). Foram utilizadas quatro repetições de 50 grãos de cada parcela, as quais foram pesadas com precisão de 0,001g e imersas em 75mL de água destilada no interior de copos plásticos de 180mL de capacidade. Em seguida, esses recipientes foram levados à estufa com

ventilação forçada regulada para 25°C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da água de embebição em aparelho Digimed CD-20. Com os dados obtidos, foi calculada a condutividade elétrica, expressando-se o resultado em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de grãos.

2.6.5.6 Lixiviação de potássio

A lixiviação de íons de potássio foi realizada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Após a leitura da condutividade elétrica, as soluções foram submetidas à determinação da quantidade de potássio lixiviada. A leitura foi realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002. Com os dados obtidos, foi calculada a quantidade de potássio lixiviada, expressando-se o resultado em ppm.

2.7 Análise estatística

Os dados obtidos das análises químicas, sensorial e fisiológicas do café foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa computacional Sisvar 4.0, segundo Ferreira (2000) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Condições de secagem

Durante a secagem em terreiro ocorreram temperaturas entre 10 e 28°C e umidades relativas entre 34,5 e 61,2%, o que proporcionou uma taxa média de secagem de 0,0020 kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹ para o café despulpado e de 0,0017 kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹, para o café natural. Ressalta-se que esses valores foram bem menores que aqueles obtidos com a secagem em secador, sob temperaturas de 60/40 °C e 60°C. Nos tratamentos em que houve aplicação do ar à temperatura de 60°C observaram-se as maiores taxas de secagem de 0,0324 kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹ para o café despulpado e 0,0213 kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹, para o café natural. No tratamento 60/40°C, onde foi aplicado ar de secagem a 40°C a partir do teor de água de 30%(bu), a taxa de secagem foi de 0,0205 kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹ para o café despulpado e 0,0098 kg H₂O.kg café⁻¹.hora⁻¹ para o natural.

3.2 Análise sensorial

As notas médias obtidas na análise sensorial são apresentadas na Tabela 1. Observa-se que o café secado em terreiro apresentou a melhor qualidade de bebida, seguido pelo tratamento de 60/40°C, sendo o pior resultado obtido com a secagem a 60°C. Verifica-se também que a qualidade de bebida do café não foi afetada significativamente pelo tipo de processamento via seca e via úmida.

TABELA 1 Valores médios das notas finais da análise sensorial dos cafés submetidos ao processamento e secagem.

PROCESSAMENTO	Nota Final	SECAGEM	Nota Final
Natural	79,04 A	Terreiro	80,35 A
Despolpado	78,98 A	60/40°C	79,05 B
		60°C	77,64 C

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Segundo a escala de notas para avaliação sensorial de cafés especiais proposta pela SCAA (2008), o café com notas entre 80 e 84 pontos é considerado especial. No presente experimento, o café seco em terreiro, natural e despolpado, enquadraram-se nesse intervalo, sendo denominados cafés muito bons. Já os cafés secos em secador, com temperatura alternada de 60/40°C e constante de 60°C, são denominados cafés bons, porém enquadrando-se na categoria de cafés não especiais, com notas entre 75 e 79 pontos.

O resultado desse experimento corrobora com os resultados obtidos por vários autores que associam a elevação da temperatura com a redução da qualidade da bebida (Borém et al., 2006; Coradi et al., 2007; Marques et al., 2008).

3.3 Análises químicas

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios de açúcares totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, acidez titulável total (ATT) determinados para os cafés natural e despolpado.

TABELA 2 Valores médios de açúcares totais, redutores, não redutores e acidez titulável total (ATT) do café natural e despulpado.

Processamento	Açúcares totais (%)	Açúcares redutores (%)	Açúcares não redutores (%)	ATT (NaOH 0,1N/100g)
Natural	6,47 A	0,38 A	6,09A	162,16 A
Despulpado	5,64 B	0,35 A	5,29B	132,17 B

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Observa-se que para os açúcares totais e açúcares não-redutores, existem diferenças significativas entre os cafés naturais e os despulpados, já os açúcares redutores não apresentam diferenças significativas entre o café natural e despulpado.

Knopp et al. (2006), estudando o efeito de processamento via seca e via úmida sobre o teor de sacarose e outros açúcares de baixo peso molecular, encontraram diferenças nos teores de frutose e glicose, atribuindo isso ao processo de fermentação anaeróbica ocorrida no endosperma do café e à participação da glicose em outros processos metabólicos e afirmaram que não há diferenças entre os teores de açúcares totais e não-redutores, entre os cafés naturais e despulpados. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al. (2002).

No entanto, nesse trabalho, o café processado via úmida apresentou menores teores de açúcares totais e de açúcares não-redutores, podendo ter ocorrido a quebra de exoses para a produção de energia devido à mudança da respiração aeróbica para alcoólica ou fermentação láctica na falta de oxigênio durante o despulpamento. O consumo de açúcares em condições anaeróbicas é bem maior quando comparado às condições aeróbicas normais para a produção da mesma quantidade de energia. Em contraste ao processamento via úmida, o

processamento via seca é mantido em condições ambientais aeradas permitindo a respiração normal durante a secagem, menor quebra e consumo de açúcares.

Por outro lado, sabe-se que a velocidade de secagem pode exercer influência na quantidade e proporção dos diversos tipos de açúcares em grãos de café. De modo geral, a secagem lenta favorece o acúmulo de açúcares de maior peso molecular, como os oligossacarídeos, em detrimento da quantidade de açúcares redutores (Rosa et al., 2004; Lima et al., 2004). Marques et al. (2008) observaram redução nos teores de açúcar não-redutores com o aumento da temperatura de 40°C para 60°C. Resultados semelhantes foram obtidos por Borém et al. (2006) que verificaram maiores valores de açúcares não-redutores nas amostras que tiveram menores taxas de redução de água. Neste trabalho, embora as diferenças entre os teores de açúcar, nos cafés natural e despulpado, tenham sido pequenas, observa-se que a secagem mais lenta dos grãos no processamento via seca pode ter favorecido o acúmulo de açúcares totais e açúcares não-redutores.

Na tabela 2, são apresentados os valores médios de acidez titulável total (ATT) dos cafés natural e despulpado, onde pode ser observado valor significativamente superior no café processado via seca. No entanto, na análise de variância (Anexo 1) verifica-se que os tratamentos de secagem não causaram efeito significativo sobre a acidez titulável total. Considerando a acidez um importante atributo da qualidade de bebida do café, Carvalho et al. (1994) e Franca et al. (2005), associaram maiores valores de acidez com bebidas de pior qualidade. Valores elevados de ATT têm sido verificados em cafés processados por via seca quando comparados aos valores obtidos para os cafés descascados, desmucilados e despulpados (Leite, 1991; Villela, 2002). No presente trabalho, ainda que o café natural tenha apresentado maior teor de acidez titulável total em relação ao despulpado, diferenciando-se estatisticamente, isso não foi refletido na qualidade de bebida desses cafés (Tabela 1).

Na Tabela 3, são apresentados os valores encontrados na análise de compostos fenólicos dos grãos processados e submetidos aos tratamentos de secagem.

TABELA 3 Valores médios da porcentagem de compostos fenólicos dos grãos de café.

PROCESSAMENTO	Fenólicos (%)	SECAGEM	Fenólicos (%)
Natural	6,21 A	Terreiro	6,23 A
Despolpado	6,31 A	60/40°C	6,59 A
		60°C	5,97 A

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Com relação aos compostos fenólicos, é possível observar que os tratamentos aplicados não influenciaram o teor final desses compostos (Tabela 3). Os compostos fenólicos são responsáveis pela adstringência da bebida, sendo encontrados principalmente quando há presença de grãos verdes ou imaturos. Nesse trabalho, devido à colheita seletiva e rigorosa seleção da matéria-prima para obtenção de frutos maduros, não observou-se adstringência elevada na bebida. Apesar da presença desses compostos ser indesejável, Ferreira (2005), sugere que eles podem inibir os processos de oxidação em certos sistemas, mas isso não significa que eles possam proteger as células e os tecidos de todos os tipos de danos oxidativos.

As metodologias utilizadas para as análises químicas contabilizam de uma forma geral todos os açúcares, todos os ácidos e compostos fenólicos juntamente, não diferenciando cada tipo desses constituintes separadamente. Isso

pode dificultar o diagnóstico do efeito do processamento e da secagem sobre os grãos de café. Sugere-se, portanto, a utilização de metodologias e equipamentos mais sensíveis na determinação desses constituintes, tais como cromatografia líquida de alta eficiência e cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.

3.4 Análises fisiológicas

Na Tabela 4, é apresentado o desdobramento do efeito da secagem para cada tipo de processamento na qualidade fisiológica dos grãos de café.

TABELA 4 Resultado da avaliação da qualidade fisiológica dos grãos submetidos à secagem em terreiro e ar aquecido a 60/40°C e 60°C.

	Secagem	Processamento	
		Natural (%)	Despolpado (%)
Protrusão radicular	Terreiro	76 b A	97 a A
	60/40°C	2 b B	85 a A
	60°C	9 b B	51 a B
Germinação	Terreiro	80 b A	97 a A
	60/40°C	0 b B	85 a B
	60°C	0 b B	61 a C
Emergência	Terreiro	67 b A	92 a A
	60/40°C	0 b B	60 a B
	60°C	0 b B	30 a C
Índice de Velocidade de Emergência	Terreiro	1,2 b A	1,5 a A
	60/40°C	0 b B	1,1 a A
	60°C	0 b B	0,5 a B
Folhas cotiledonares abertas	Terreiro	56 b A	80 a A
	60/40°C	0 b B	47 a B
	60°C	0 a B	16 a C

As médias seguidas de letras minúsculas distintas nas linhas e seguidas de letras maiúsculas nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 4, que a forma de processamento do café influenciou significativamente a protrusão radicular e a germinação das sementes, com valores maiores para o processamento via úmida, indicando que os cafés despulpados sofreram menos danos fisiológicos do que os cafés naturais durante a secagem. Apesar de haver uma pequena porcentagem de protrusão radicular nos tratamentos de secagem do café natural a 60/40°C e a 60°C, a germinação e emergência foram nulas, indicando que as sementes já se encontravam mortas ou em avançado processo de deterioração. Os menores valores de protrusão radicular e de germinação no café natural em comparação com o café despulpado, secos em terreiro, indicaram que ocorreram danos físicos e fisiológicos mais intensos aos grãos no processamento via seca.

Constata-se pelos dados apresentados na Tabela 4 que, à medida que as condições de secagem se tornam mais severas, os danos também aumentam, mostrando que o processamento via úmida e o método de secagem em terreiro são os tratamentos que causam menores danos aos grãos, expressados pelos resultados das análises fisiológicas. Os resultados de protrusão radicular e de germinação para o café despulpado secado sob temperatura de 60/40°C indicam um bom desempenho fisiológico apresentado pelos grãos, com resultados semelhantes aos apresentados pelo café despulpado secado em terreiro.

Os resultados dos testes de germinação e de emergência apresentaram-se consistentes e comprovam que o tratamento que proporciona a melhor qualidade fisiológica é o processamento via úmida e a secagem em terreiro.

A utilização de temperaturas elevadas permite secagem mais rápida, porém, pode provocar uma diferença de teor de água muito grande entre a periferia e o centro do grão, gerando um gradiente de pressão que causa o trincamento no interior dos grãos (Peske & Villela, 2003). Esses tecidos danificados exigem gastos de energia do grão para a reorganização das membranas, com possíveis aumentos na taxa de respiração, aumento na taxa de

lixiviação de solutos e formação de toxinas pelas partes não recuperadas, entre outros eventos metabólicos, resultando na redução do vigor das sementes ou até mesmo perda total da viabilidade.

Na tabela 5, encontram-se os resultados do desdobramento do efeito do tratamento de secagem para cada tipo de processamento dos grãos sobre a condutividade elétrica, uma vez que foi constatada uma interação significativa desses fatores.

TABELA 5 Valores médios da condutividade elétrica dos grãos submetidos à secagem no terreiro e ar aquecido a 60/40°C e 60°C.

Secagem	Processamento	
	Natural ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)	Despolpado ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
Terreiro	59,59aA	48,22aA
60/40°C	114,7bB	72,98aB
60°C	117,5bB	95,67aC

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Observa-se que os menores valores de condutividade elétrica foram encontrados nos cafés secados em terreiro, não ocorrendo diferença entre tipos de processamento via seca e via úmida (Tabela 5). Já para os tratamentos com secagem mecânica pode-se observar que houve diferença entre os dois tipos de processamentos, sendo mais evidente o aumento da condutividade elétrica dos grãos de café processados por via seca, cafés naturais secados a 60/40°C e a 60°C, indicando que esses tratamentos podem ter causado danos aos sistemas de membranas celulares. No tratamento via úmida, observa-se que o café secado a

60/40°C apresentou um valor intermediário, diferenciando-se estatisticamente tanto da secagem em terreiro quanto da secagem a 60°C.

Coradi et al. (2007) e Borém et al. (2008b) verificaram que o aumento da temperatura de secagem causa danos ao sistema de membranas das células da grãos de café, aumentando a condutividade elétrica do exsudado dos grãos. Esses autores afirmam que, com o extravasamento dos ácidos graxos presentes no interior celular devido à desorganização ou rompimento das membranas citoplasmáticas, podem ocorrer reações oxidativas ou reações catalíticas com produtos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial da bebida do café. Neste trabalho, pôde-se observar que os cafés despulpados secos em secador apresentaram valores de condutividade elétrica mais baixos do que os cafés naturais, permitindo inferir que os danos nas membranas celulares foram menores nos cafés despulpados. Ressalta-se que, na secagem do café natural a 60°C o tempo de exposição dos grãos a essa temperatura foi maior do que nos cafés despulpados, o que certamente favoreceu a ocorrência de maiores danos aos sistemas de membranas celulares.

Na tabela 6, são apresentados os valores médios de lixiviação de potássio dos grãos de café, sob diferentes formas de processamento e de secagem. Verifica-se pela análise de variância que houve efeito significativo dos métodos de secagem e de processamento dos grãos na lixiviação de potássio, sem, no entanto, haver interação entre os dois fatores.

TABELA 6 Valores médios da lixiviação de potássio (LK) dos grãos submetidos à secagem em terreiro e em secador com ar aquecido a 60/40°C e 60°C.

PROCESSAMENTO	LK (g/kg)	SECAGEM	LK (g/kg)
Natural	67,52 A	Terreiro	47,63 A
Despolpado	57,52 B	60/40°C	62,25 B
		60°C	77,67 C

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas colunas na diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Verifica-se que o café secado em secador, sob a temperatura de 60/40°C apresentou um valor intermediário de lixiviação de potássio entre os valores encontrados na secagem a 60°C e no terreiro, diferenciando-se estatisticamente desses dois tratamentos. Isso pode ser um indicativo de que ocorreram menores danos em membranas na temperatura de 60/40°C, e que esses danos podem ter ocorrido antes dos grãos atingirem teor de água de 30% \pm 2% (bu). O teste de lixiviação de potássio, assim como o de condutividade elétrica, avalia a integridade do sistema de membranas e observa-se que os efeitos dos tratamentos são semelhantes aos verificados no teste de condutividade elétrica.

Os tratamentos em que a secagem foi feita a 60°C causaram efeito negativo na integridade das membranas celulares dos grãos de café, indicados pelos altos valores de condutividade elétrica, corroborando com os resultados obtidos por Prete (1992), Borém et al. (2006) e Marques et al. (2008).

A alta taxa de remoção de água, provocada pela elevada temperatura no início da secagem, no tratamento de 60/40°C, pode ter sido prejudicial à integridade fisiológica dos grãos. Além disso, de acordo com Leprince et al. (1993) e Corbineau et al. (2000), um mecanismo de defesa das sementes contra a degeneração das membranas celulares é o acúmulo de açúcares, atuando na

estabilização das membranas e proteínas da semente. Porém, quando a secagem é excessivamente rápida, não há tempo suficiente para que esse fenômeno ocorra e, conseqüentemente, a manutenção da integridade fisiológica do grão fica comprometida.

Esses resultados são coerentes com aqueles obtidos na análise sensorial e nas análises químicas, indicando que, com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorre um decréscimo na qualidade sensorial dos grãos de café processados via seca e via úmida.

No presente trabalho, pôde-se constatar que as análises sensorial e fisiológicas diagnosticaram precocemente algumas das transformações ocorridas nos grãos de café, durante o processamento e secagem. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que as formas de secagem de café que proporcionaram a melhor qualidade fisiológica dos grãos também proporcionaram a melhor qualidade de bebida, indicando uma relação entre essas duas variáveis. Isso assume grande importância no contexto da tecnologia pós-colheita do café, com contribuições relevantes para a definição de estratégias de manejo do café, seja em terreiro ou secador, para a obtenção de cafés de qualidade superior.

4 CONCLUSÕES

Para as condições ambientais em que foi realizado esse experimento, concluiu-se que:

A secagem em terreiro proporciona a melhor qualidade fisiológica e qualidade de bebida dos grãos de café.

O café despolpado apresenta melhor qualidade fisiológica do que o café natural, independente do método de secagem.

A temperatura de 60°C é imprópria para a secagem do café e a temperatura de 60/40°C é adequada para o café despolpado, porém imprópria para o café natural.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGULLO, J. O.; MARENIA, M. O. Airflow resistance of parchment Arabica coffee. **Biosystems Engineering**, v. 91, n. 2, p. 149-156, June 2005.

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, Bangladore. **Proceedings...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

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

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyps of the Association of Official Analytical Chemists**. 15 ed. Washington, 1990.

BORÉM, F. M. Processamento do café. In: _____. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. Ultrastructural analysis damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. **Biosystems Engineering**, v. 99, n. 1, p. 62-66, Jan. 2008a.

BORÉM, F. M.; RIBEIRO, D. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; ROSA, S. D. V. F.; MORAIS, A. R. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, abr./jun. 2006.

BORÉM, F. M.; SAATH, R.; ALVES, E.; TAVEIRA, J. H. S.; OLIVEIRA, P. D. Caractization of the moment of endosperm cell damage during coffee drying. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Proceedings...** Campinas: ASIC, 2008b. p. 14-19.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

- BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; KRAMER, D.; BREITENSTEIN, B.; BERGERVOET, J. H. W.; GROOT, P. C.; SELMAR, D. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.
- BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; SCHIEBERLE, P.; TEUSTSCH, I.; SELMAR, D. Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 3/4, p. 245-250, Mar. 2005.
- CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BORTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Relações 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. 449-445, mar. 1994.
- CLINFFORD, M. N. Chlorogenic acids and other cinnamates nature, occurrence and dietary burden. **Journal of Science Food and Agriculture**, London, v. 79, n. 3, p. 363-372, Mar. 1999.
- CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; SAATH, R.; MARQUES, E. R. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. **Coffe Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, Jan./June 2007.
- CORBINEAU, F.; PICARD, M. A.; FOUGEREUX, J. A.; LADONNE, F.; CÔME, D. Effects of dehydration conditions on desiccation tolerance of developing pea seeds as related to oligosaccharide content and cell membrane properties. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 10, n. 3, p. 29-339, Sept. 2000.
- FARAH, A.; PAULIS, T. de; TRUGO, L. C.; MARTIN, P. R. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 5, p. 1505-1513, Mar. 2005.
- FARAH, A.; MONTEIRO, M. C.; CALADO, V.; FRANCA, A. S.; TRUGO, L. C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 373-380, 2006.
- 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.

- FERREIRA, E. A. **Avaliação do potencial antioxidante e hipotriglicéridêmico de análogos sintéticos da acetofenona.** 2005. 120 p. Dissertação (Mestrado em Farmácia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FLAMENT, I. **Coffee flavour chemistry.** London: J. Wiley, 2002.
- FORTES, M.; FERREIRA, A. D.; FERREIRA, W. R.; SOUZA, A. C. Modelagem de um condicionador de ar de alta precisão para uso em processamento agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 578-589, maio/ago. 2006.
- FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; MENDONÇA, J. C. F.; SILVA, X. A. Physical and chemical attributes of detective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 90, n. 1/2, p. 89-94, Mar./Apr. 2005.
- GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, Oxford, v. 2, n. 4, p. 371-382, Dec. 1963.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality.** London: Academic, 1995. 253 p.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **News from the executive director.** Disponível em: <<http://www.ico.org/index.asp>>. Acesso em: 12 nov. 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee** - Determination of loss in mass at 105°C: ISO 6673: 2003. Switzerland, 2003.
- KNOPP, S. E.; BYTOF, G.; SELMAR, D. Influence of processing on the cont of sugars in green arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, 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 Ciência dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

LELOUP, V.; GANCEL, C.; LIARDON, R.; RYTZ, A.; PITHON, A. Impact of wet and dry process on green coffee composition and sensory characteristics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangladore. **Proceedings...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; MCKERSIE, B. D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 4, p. 231-246, Dec. 1993.

LIMA, S. M. P.; GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, J. A.; VIEIRA, M. G. C. Efeitos de tempos e temperaturas de condicionamento sobre a qualidade fisiológica de sementes de cafeeiro (*coffea arábica* L.) sob condições ideais e de estresse térmico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 505-514, maio/jun. 2004.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 2. ed. Washington: Coffee Development Group, 1986. 32 p.

MAGUIRRE, J. D. Speed of germination: aid seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, Mar./Apr. 1962.

MARQUES, E. R.; BOREM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. 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.

NELSON, N. A photometric adaptation of somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, Baltimore, v. 153, n. 1, p. 75-84, Apr. 1944.

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

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A. Secagem de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. R. M. **Sementes**: fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas: UFPel, 2003. 414 p.

PIMENTA, C. J.; COSTA, L.; CHAGAS, S. J. de R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamentos**, Viçosa, n. 1, p. 23-30, 2000. Edição Especial - Café.

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. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ROSA, S. D. V. F. da; PINHO, E. V. R. von; VIEIRA, M. G. G. C.; VEIGA, R. D. Indução de tolerância à temperatura de secagem em sementes de milho por meio de pré-condicionamento à baixa temperatura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 290-318, 2004.

SANTOS, M. A. **Influência do preparo por via úmida e tipos de secagem sobre a composição física, físico-química e química do café** (*Coffea arabica* L.). 2005. 60 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; BRADBURY, A.; WILKENS, J.; BECKER, R. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffee are interconnected with an active seed metabolism. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangladore. **Proceedings...** Bangladore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

SIVETZ, M. **Coffee processing technology**. Westport: AVI, 1963. v. 2, 349 p.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Backgrounder:** what's special about specialty coffee? Disponível em: <<http://scaa.org/pdfs/Press-What-is-Specialty-Coffee.pdf>..>. Acesso em: 23 nov. 2008.

VILLELA, T. C. **Qualidade de café despulpado, desmucilado, descascado e natural, durante o processo de secagem**. 2002. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CAPÍTULO 2

O Capítulo 2 será transcrito em formato de artigo e encaminhado para submissão ao Periódico Científico Pesquisa Agropecuária Brasileira.

PERFIS PROTÉICOS DE GRÃOS DE CAFÉ SUBMETIDOS À DIFERENTES FORMAS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM

**José Henrique da Silva Taveira¹, Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa,
Flávio Meira Borém, Reni Saath.**

¹Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil; e-mail: henriquetaveira@yahoo.com.br

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelos auxílios concedidos para a realização do presente trabalho.

RESUMO

PERFIS PROTÉICOS DE GRÃOS DE CAFÉ SUBMETIDOS À DIFERENTES FORMAS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM

Objetivou-se, neste trabalho, identificar novos marcadores bioquímicos que possam ser usados para distinguir os cafés obtidos por diferentes formas de processamento e secagem. O café foi processado via seca e via úmida, e secado no terreiro, e com ar aquecido a 60°C e 60/40°C. O sistema artificial de secagem foi um secador acoplado a um condicionador de ar, o qual permite o controle da temperatura, umidade relativa e fluxo. Após serem processados e secados, os grãos foram submetidos às análises bioquímicas. Foram procedidas as análises eletroforéticas de proteínas *lea* e as isoenzimas superoxidodismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (PO), esterase (EST), polifenoloxidase (PPO), isocitradodesidrogenase (IDH), alcooldesidrogenase (ADH) e malato desidrogenase (MDH). Podem-se observar resultados surpreendentes nos perfis eletroforéticos, nos quais o café despulpado se mostrou mais tolerante à secagem que o café natural. Foi constatada no café despulpado maior atividade enzimática, indicando menores transformações negativas e conferindo melhor qualidade fisiológica a esses grãos, bem como um potencial para preservação da qualidade da bebida. A utilização dessas análises, além de apresentar claramente as diferenças entre os tipos de processamento do café, foi capaz de detectar várias transformações bioquímicas que podem alterar a qualidade sensorial do café.

ABSTRACT

PROTEIN PROFILES OF COFFEE GRAINS SUBMITTED TO DIFFERENT TYPES OF PROCESSING AND DRYING

The objective of this work was to identify new biochemical markers capable of distinguishing the coffee obtained through different processing and drying methods. The coffee was processed in the dry and wet methods, and dried on the ground and using heated air at 60°C and at 60/40°C. The mechanical drying apparatus was composed of a dryer coupled to an air conditioner, which allows for temperature, relative humidity and flow control. After processing and drying, the coffee grains were submitted to biochemical analyses. The eletrophoretical analyses of late embryogenic proteins and isozyme activity (SOD, CAT, PO, EST, PPO, IDH, ADH and MDH) were carried out. Some surprising results were observed in the eletrophoretical profiles, in which the washed coffee was more resistant to drying. This coffee presented higher enzymatic activity, indicating fewer negative transformations and higher physiological quality in the grains, as well as a higher potential for preserving the beverage quality. The use of these analyses, while clearly demonstrating the differences between the processing methods, was also a means of detecting several biochemical transformations that can alter coffee's sensorial quality.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos agrícolas mais importantes comercializados no mundo e atualmente os consumidores brasileiros, bem como os países importadores estão mais exigentes com relação à qualidade da bebida. Os cuidados pós-colheita, principalmente durante o processamento e a secagem, têm sido apontados como fatores determinantes na qualidade final do produto, influenciando principalmente o sabor e o aroma (Bytof et al., 2007; Borém, 2008). Durante esse período, os grãos estão sujeitos às alterações bioquímicas e fisiológicas que contribuem para a manutenção ou diminuição da qualidade da bebida. Pesquisas sobre as alterações fisiológicas ocorridas nos grãos de café, durante as fases de processamento e secagem (Borém et al., 2008b; Marques et al., 2008) têm sido realizadas, principalmente enfocando os efeitos sobre a integridade das membranas durante a secagem. Selmar et al. (2004) e Bytof et al. (2007), estudando alguns dos processos bioquímicos que estão ligados à germinação das sementes, como expressão da enzima isocitrato liase, encontraram diferenças expressivas entre o processamento do café via seca e via úmida. Os tipos de processamento e secagem do café podem afetar além dessa, outras enzimas e proteínas que são consideradas essenciais, tanto na fase de germinação quanto na manutenção e regeneração dos tecidos dos grãos de café, preservando assim a sua qualidade.

Livramento (2008), analisando cafés natural e despulpado, secados no terreiro e à 60°C, observou que o café despulpado possui um número muito maior de pontos protéicos do que o café natural, e ainda conclui que além do processamento a temperatura do ar de secagem atuou na redução desses pontos protéicos.

Além dessas alterações descritas, diversas outras podem ocorrer nos grãos durante o processamento e a secagem, tais como mudanças na composição

relativa de fosfolipídios de membranas (Chen & Burris, 1991; Wolkers et al., 1998), síntese de proteínas *lea* (*late embryogenesis accumulated*) (Leprince et al., 1993; Blackman et al., 1995) e a habilidade para prevenir, tolerar ou reparar ataque de radicais livres (Leprince et al., 1993; Nkang et al., 2000).

Quando se tratam de transformações bioquímicas ocorridas nos grãos de café durante a secagem, principalmente com graus diferentes de temperaturas, faz-se necessário o estudo das proteínas *lea*. As proteínas *lea* são de grande importância nos mecanismos que previnem os danos provenientes da remoção de água dos tecidos e são acumuladas durante os estádios mais tardios do desenvolvimento, antes ou durante a secagem. Elas conferem às sementes ou grãos capacidade de germinarem após secagem e subsequente reidratação (Bewley & Black, 1994; Guimarães, 2000; Faria et al., 2003). As proteínas *lea* têm função protetora e são induzidas por ácido abscísico ABA (Leprince et al., 1993).

Guimarães et al. (2002), trabalhando com sementes de café cv. Rubi observou que essas proteínas podem contribuir para a tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro. As proteínas *lea* têm alta solubilidade e estabilidade em água, mesmo em ebulição, sendo essa característica atribuída à proporção de aminoácidos hidrofílicos, principalmente glutamina e glicina (Walters et al., 1997). Além da função protetora, essas podem atuar no ajustamento osmótico ou, ainda, podem atuar como agentes protetores de componentes celulares, principalmente pela habilidade de formar espirais amorfas, com o objetivo de protegê-las contra danos de rompimento, na ausência de água (Kermode, 1997; Black et al., 1999).

Walters et al. (1997), sugerem que as proteínas *lea* podem ligar íons e água e estar associadas aos açúcares, controlando a taxa de perda de água, mantendo assim, a viabilidade das sementes ortodoxas em seu estado seco. Assim como ocorre nas sementes, elas podem atuar na proteção das membranas

celulares de grãos de café e, conseqüentemente, ajudar na retenção, dentro das células, dos componentes formadores do sabor e aroma.

Outros mecanismos que conferem proteção às sementes contra a ação de radicais livres são os sistemas antioxidantes, enzimáticos ou não-enzimáticos. Se a produção de radicais livres não for controlada, esses reagem com ácidos graxos insaturados das membranas e alteram a sua funcionalidade, promovendo peroxidação de lipídios, inativação de enzimas e degradação de ácidos nucléicos (Rice- Evans et al., 1991; Scandalios, 1993; Goodman, 1994).

Segundo McDonald (1999), a produção de radicais livres afeta a formação de várias enzimas e degrada a síntese de novas proteínas. A redução na atividade das enzimas removedoras de peróxidos pode contribuir com o processo de deterioração dos grãos, pois os peróxidos tornam-se destrutivos para células e tecidos. Basavarajappa et al. (1991), concluíram que a redução na atividade das enzimas removedoras dos radicais livres faz com que as sementes tornem-se mais sensíveis aos efeitos do O₂.

Os mecanismos enzimáticos protetores contra radicais livres incluem as enzimas: superóxido dismutase (SOD), catalase(CAT), peroxidase (PO) (Leprince et al., 1990; Puntarulo et al., 1991). Essas enzimas envolvem o sistema de proteção contra a deterioração.

De acordo com Amorim (1978), o mecanismo de oxidação de polifenóis pela enzima polifenoloxidase (PPO) é considerado como um dos principais eventos bioquímicos indutores da depreciação da qualidade da bebida do café. A redução na atividade dessa enzima está relacionada à integridade de membranas, onde há comprometimento da estrutura celular pela alteração nas membranas.

Além dessas isoenzimas, outras como Esterase (EST), isocitrato desidrogenase (IDH) e a malato desidrogenase (MDH) estão ligadas ao processo de deterioração das sementes ou grãos (Coutinho et al., 2007).

O processamento e a secagem podem promover inúmeras transformações físicas, fisiológicas e bioquímicas nos grãos, sendo que as análises fisiológicas associadas à marcadores bioquímicos, por serem mais sensíveis, podem medir a deterioração incipiente através da expressão da atividade de certas enzimas associadas à quebra de reservas ou à biossíntese de tecidos novos. Esses estudos e análises dessas transformações podem ser relacionados com outros tipos de pesquisas aprofundadas para a elucidação dos principais eventos que ocorrem nos grãos de café.

Na tentativa de associar os eventos ocorridos nos grãos, principalmente os que levam à deterioração e conseqüente queda da qualidade, objetivou-se, no presente trabalho foi identificar novos marcadores bioquímicos que possam ser usados para distinguir os cafés obtidos das diferentes formas de processamento e secagem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado com frutos maduros de café (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí vermelho 99), colhido na Universidade Federal de Lavras, UFLA. Os frutos colhidos foram levados ao Pólo em Tecnologia Pós-colheita do Café para serem processados por via seca e via úmida. Após o processamento, o café foi secado em três condições diferentes: no terreiro e em secador, sob temperatura do ar de secagem de 60°C e de 60/40°C. Terminada a secagem, foram procedidas as análises eletroforéticas e fisiológicas das enzimas e proteínas no Laboratório de Eletroforese no Setor de Análises de Sementes da Universidade Federal de Lavras.

2.2 Processamento via seca

Para o processamento do café via seca, que produz os cafés naturais, os frutos foram lavados e separados hidraulicamente por diferença de densidade para a remoção dos frutos bóia e secos presentes na parcela. Em seguida, os frutos maduros foram mais uma vez selecionados manualmente, para garantir a uniformidade da amostra com relação ao estágio de maturação. Após esse procedimento, o café natural foi conduzido ao terreiro para o período de pré-secagem.

2.3 Processamento via úmida

Para o processamento do café via úmida, que produz os cafés despolpados, os frutos maduros provenientes de colheita seletiva foram mais uma vez selecionados manualmente e descascados mecanicamente. Após o descascamento, o café foi submetido à fermentação em água para a remoção da mucilagem, em condições ambiente (temperatura média de 22°C) por 20h.

Quando a mucilagem foi totalmente removida, o café em pergaminho foi lavado e submetido à pré-secagem em terreiro.

2.4 Secagem em terreiro

Para a secagem em terreiro após o processamento, o café permaneceu sob condições ambiente, sendo manejados de acordo com a metodologia proposta por Borém et al. (2008a). A temperatura ambiente no terreiro, durante o período de secagem, variou de 10 a 28°C e a umidade relativa (UR) de 34,5 a 61,2%, no período das 9:00h às 15:00h, essas condições foram monitoradas com termohigrógrafo. Tanto o café natural quanto o café despulpado permaneceram sob essas condições até atingirem o teor de água de 11% (bu).

2.5 Secagem em secador

As parcelas destinadas à secagem mecânica passaram por um período de pré-secagem para minimizar as diferenças no teor de água inicial entre os cafés natural e despulpado. Esse período foi de dois dias para o café natural e de um dia para o café despulpado, devido à remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento por via úmida, resultando, conseqüentemente, grãos de café com menor teor de água inicial em comparação ao café natural.

Após o período de pré-secagem, as parcelas foram conduzidas ao secador (Figura 1) de camada fixa de 0,15m, acoplado a um condicionador de ar de alta precisão, modelo proposto por Fortes et al. (2006), o qual permite o controle do fluxo, temperatura (T) e a umidade relativa (UR) do ar de secagem com precisão por meio de um painel eletrônico. O aparelho experimental também permite a recirculação do ar de secagem, ou seja, após passar pela camada de grãos esse ar retorna à câmara de condicionamento onde é recolocado nas condições pré-determinadas de temperatura e umidade relativa.

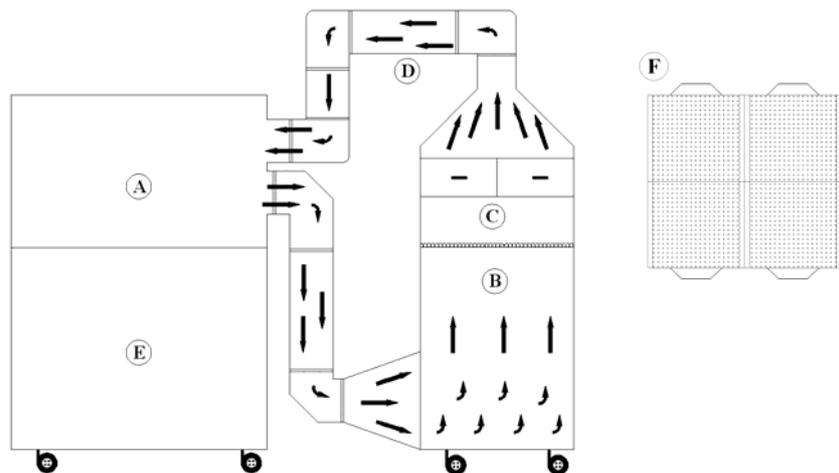


FIGURA 1 Esquema do aparelho usado para a secagem mecânica do café: (A) câmara de condicionamento do ar; (B) plenum; (C) câmara de secagem; (D) sistema de recirculação do ar; (E) sistema elétrico, motor e ventilador; (F) gavetas removíveis da câmara de secagem.

O fluxo do ar foi controlado a $20\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{m}^{-2}$, correspondendo a uma velocidade de $0,33\text{m}.\text{s}^{-1}$ (Agullo & Marenha, 2005). Simulando uma condição ambiental média constante durante todo o período de secagem nesta época do ano, quando o ar ambiente é aquecido a 40°C , permanecendo com UR de 19% e o ar aquecido a 60°C com UR de 7%, os valores de temperatura e UR foram controlados nessas condições.

A parcela que recebeu o tratamento com ar aquecido a 60°C permaneceu no secador até o café atingir o teor de água de $11\% \pm 0,5\%$ (bu). E o tratamento com ar aquecido a $60/40^\circ\text{C}$ foi aplicado da seguinte forma: 60°C até teor de água de 30% (bu) e 40°C até atingir 11% (bu).

O controle do teor de água dos grãos durante a secagem foi feito a partir do teor de água inicial do café proveniente do terreiro, o qual tornou possível o

monitoramento da variação de massa nas respectivas amostras. O teor de água do café foi determinado pelo método padrão ISO 6673 (International Organization for Standardization, ISO, 2003).

2.6 Preparação das amostras

Após a secagem em terreiro e secagem artificial, os grãos foram beneficiados manualmente para evitar quaisquer danos mecânicos, macerados em nitrogênio líquido na presença de PVP-40 (polivinilpirrolidona) e o pó armazenado em microtubos em *deep-freezer* a -80°C . Foi procedida, então, a análise eletroforética das *lea* proteínas e isoenzimas dos grãos correspondentes a cada parcela experimental.

2.7 Eletroforese de lea proteínas

O pó congelado dos grãos, armazenado em *deep-freezer*, foi pesado (100 μg), colocado em microtubos de 1500 μL com 700 μL de tampão (50 μM tris-HCl-7,5; 500 μM NaCl; 5 μM MgCl₂; 1 μM PMSF; 5 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ de Leupeptim; e 5 $\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$ de Antipain) e agitados em Vortex. O homegeneizado cru foi centrifugado a 16000xg, por 20 minutos sob 4°C . O sobrenadante foi incubado em banho-maria a 80°C por 10 minutos e novamente centrifugado como acima descrito. O sobrenadante foi vertido em microtubos e o pellet descartado. Antes da aplicação no gel, os tubos de amostras contendo 60 μL de extrato + 20 μL de solução tampão da amostra (5 μL de glicerol; 2,5 μL de solução tampão do gel concentrador; 2,5 μg de azul Bromofenol e completado o volume para 25 μL de água deionizada) foram colocados em banho-maria com água em ebulição por 5 minutos (Blackman et al., 1991). Foram aplicados 60 μL do extrato com *lea* proteína + 20 μL do tampão da amostra por canaleta, em gel de poliacrilamida SDS-PAGE a 12,5% (gel separador) e 6% (gel concentrador). A corrida eletroforética foi realizada a 150V, por cerca de 4 horas. Após a migração

eletroforética, os géis foram corados em Coomassie Blue a 0,05%, conforme Alfenas et al. (1991), durante 12 horas e descorados em solução de ácido acético 10%.

2.8 Eletroforese de isoenzimas

A eletroforese das isoenzimas superoxidodismutase (SOD), catalase (CAT), esterase (EST), peroxidase (PO), álcool desidrogenase (ADH), malato desidrogenase (MDH), isocitrato desidrogenase (IDH), foi realizada em géis de poliacrilamida (separador 7,5%/concentrador 4,5%) com sistema tampão gel/eletrodo Tris glicina, pH 8,9. À 100mg do pó das sementes foram adicionados 320µl do tampão de extração Tris-HCL (0,2M; pH 8,0; 0,2% β mercaptanol; 0,4% PVP; 0,4% PEG; 1 mM EDTA), exceto para a enzima PO que foi extraída em tampão fosfato de potássio (0,1M; pH 7,8; 0,2% β mercaptanol). O homogeneizado foi incubado em gelo por 1 hora e centrifugado a 16000 xg a 4°C, por 60 minutos. Em seguida 60µl do sobrenadante foram aplicados em cada canaleta dos géis. A revelação dos géis para sistemas isoenzimáticos citados acima foi realizada conforme metodologia descrita por Alfenas et al. (1991).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Eletroforese de lea proteínas

No perfil eletroforético das proteínas *lea* apresentado na Figura 1, pode ser observado que, independentemente do método de processamento e secagem, percebe-se a atividade das enzimas em todos os tratamentos. Essas proteínas são sintetizadas e acumuladas nos estádios mais tardios do desenvolvimento de sementes, antes ou durante a secagem. Sua função, embora ainda não completamente esclarecida, está associada à tolerância à dessecação e proteção dos sistemas de membranas (Bewley & Black, 1985; Kermode, 1990; Leprince et al., 1990; Blackman et al., 1991; Berjak, 2006). Apesar de todos os frutos terem sido colhidos no estágio cereja de maturação, esses foram submetidos a diferentes condições de processamento e secagem. É evidente a maior atividade de proteínas *lea* nos grãos despulpados, comparados aos de café natural (Figura 1). As sementes despulpadas foram as que apresentaram a melhor qualidade fisiológica após os tratamentos (dados não publicados), indicando, portanto, que o processamento e a secagem afetaram a expressão de proteínas *lea*. As sementes que apresentaram os piores desempenhos fisiológicos foram as secadas no fruto, processamento via seca, e aquelas secadas a 60°C e 60/40°C, apresentando menores atividades dessa proteína. Guimarães et al. (2002), trabalhando com tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro, sugerem que as modificações ocorridas nas proteínas *lea* reduzem à tolerância a dessecação de sementes. Esse fato foi observado nos cafés processados via seca, nos quais a intolerância à dessecação ficou evidente e tal fenômeno é confirmado pela baixa qualidade fisiológica das sementes.

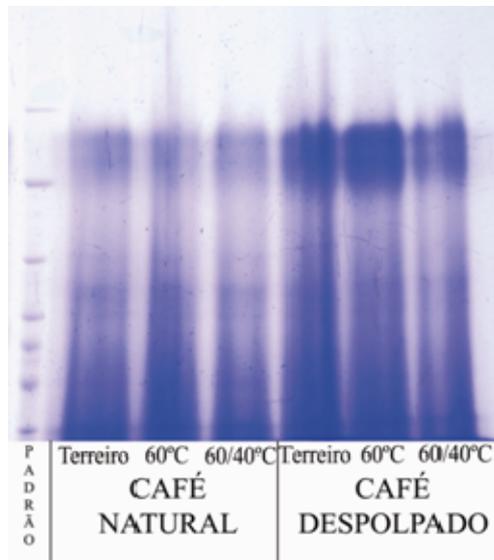


FIGURA 2 Perfil eletroforético das proteínas *lea* extraídas pelo calor em grãos de café submetidas aos processamentos via seca e via úmida, e aos tratamentos de secagem no terreiro, 60°C e 60/40°C.

5.2 Eletroforese de isoenzimas

Na figura 3, são observados os padrões eletroforéticos da catalase CAT (Figura 3A), superóxido dismutase SOD (Figura 3B), peroxidase PO (Figura 3C).

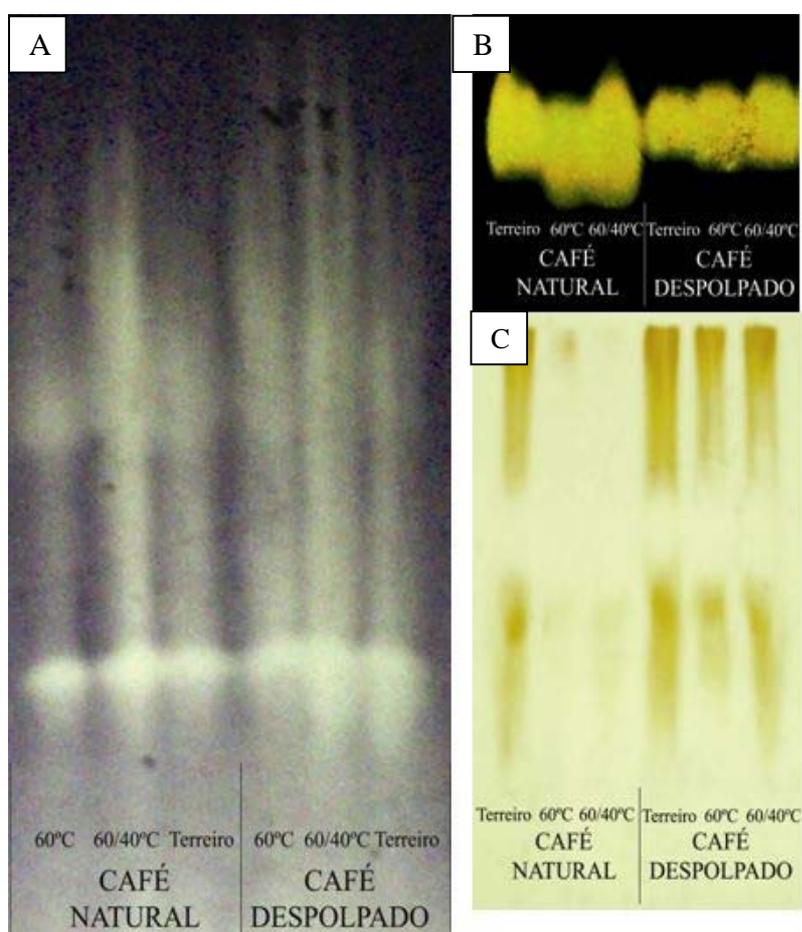


FIGURA 3 Perfil eletroforético das isoenzimas: A) superóxido desmutase (SOD); B) catalase (CAT); C) peroxidase (PO), de grãos de café submetidos aos processamentos via seca e via úmida, e aos tratamentos de secagem no terreiro, 60°C e 60/40°C.

As enzimas SOD, CAT e PO são conhecidas como removedores de radicais livres ou “scavengers”. A redução na atividade dessas enzimas está relacionada à perda de viabilidade das sementes e conseqüentemente, redução na qualidade dos grãos (Brandão Júnior et al., 1999). Esse sistema enzimático está envolvido em uma resposta antioxidativa por neutralizar potencialmente o oxigênio tóxico ativado, formado durante as condições de estresses (Winston, 1990) e, dentre esses está a secagem, a qual pode causar danos às sementes. Situações de estresse, como a remoção severa da água das células, induzem a processos oxidativos e produção de radicais livres, os quais são altamente reativos (Hendry, 1993). Segundo Leprince et al. (1993), os danos em membranas induzidos por dessecação podem ser mediados pela oxidação, a qual promove esterificação fosfolipídica ou peroxidação de lipídios.

Investigando os efeitos de temperatura, oxigênio e um inibidor de respiração, durante a secagem de sementes de milho e de soja após embebição, sobre danos induzidos por radicais livres, Leprince et al. (1990), Leprince et al. (1994) e Leprince et al. (1995) concluíram que a expressão de danos de dessecação depende da história de secagem e de fatores que limitam o metabolismo da semente. Também reduzem a incidência de danos, na medida em que radicais livres são acumulados como uma consequência de atividades metabólicas. Os autores concluíram que a tolerância à dessecação é favorecida por sistemas protetores que previnem danos letais durante a secagem.

A atividade enzimática da enzima catalase foi maior para os cafés naturais do que para os despulpados (Figura 3B) e maior nas sementes mais danificadas pela secagem, ou seja, aquelas submetidas à temperatura de 60°C. Essa é uma enzima envolvida na remoção de peróxidos de hidrogênio (H₂O₂), atuando na desintoxicação das células e uma maior atividade resulta, provavelmente, na diminuição da prevenção de danos oxidativos (Sung, 1994; Sung & Ching, 1995; Bailly et al., 1996). Brandão Júnior et al. (2002)

verificaram um decréscimo da atividade da catalase em sementes de café intolerantes à dessecação, as quais apresentaram menor desempenho fisiológico.

Os resultados aqui são discordantes dos apresentados acima, com uma atividade da CAT maior nos grãos de café mais deteriorados pelas temperaturas de 60 e 60/40°C, acarretando a produção de radicais livres. Provavelmente, a atividade da CAT foi maior nos cafés naturais devido à alta produção de peróxido de hidrogênio H₂O₂, resultante da atuação da enzima SOD (Figura 3A) na remoção dos radicais livres. A perda de viabilidade de sementes está associada com a peroxidação de compostos na presença de oxigênio (Hendry et al., 1992; Hendry, 1993), o que causa uma série de eventos indesejáveis incluindo a diminuição de lipídeos, redução da competência respiratória e aumento na evolução de compostos voláteis como aldeídos (Wilson & McDonald, 1986). A peroxidação lipídica começa com a geração de radicais livres (um átomo ou molécula com um elétron não pareado) e também pela auto-oxidação ou enzimaticamente por oxidação por enzimas McDonald (2004). Frequentemente, a peroxidação de lipídeos de membrana celular leva a injúria celular caracterizada pela alteração da fluidez, a modificação estrutural dos sistemas enzimáticos e a destruição das membranas (Halliwell & Gutteridge, 1989).

O perfil eletroforético da enzima PO (Figura 3C) indica que, para os tratamentos de secagem do café natural no secador, os quais apresentaram os piores desempenhos fisiológicos, também apresentaram menores atividades, diferindo dos tratamentos que proporcionaram sementes menos deterioradas. Dentre os cafés despulpados, aqueles que apresentaram a melhor qualidade fisiológica, apresentaram também maiores atividades da enzima PO. Assim, como a SOD e CAT, as POs são enzimas associadas aos sistemas de remoção dos produtos indesejáveis da peroxidação de lipídios em sementes e grãos. Assim, maior atividade da enzima PO está relacionada com a melhor qualidade

fisiológica dos grãos de café e, quanto maior o estresse provocado pela alta temperatura de secagem, menor atividade. Isso é um indicativo de que o despulpamento do café parece conferir maior tolerância à dessecação em relação aos cafés naturais, processados intactos. Brandão Júnior et al. (2002), também verificaram redução na atividade dessa enzima em sementes de café danificadas pela secagem, as quais são sensíveis à dessecação.

Nkang et al. (2000), observaram um decréscimo em atividades de CAT e SOD, associados com aumentos em níveis de hidroperóxidos, durante o processo de secagem de sementes de *Telfairia occidentalis*, sensíveis à dessecação. Li & Sun (1999) observaram aumentos em peroxidação de lipídios em eixos embrionários de *Theobroma cacao*, durante dessecação e um associado decréscimo em sistemas enzimáticos de proteção. Segundo os autores, esses resultados sugerem um aumento no teor de radicais livres oxidativos, embora não quantificados, os quais podem causar danos em membranas, confirmados pelo aumento em lixiviação de eletrólitos e perda de viabilidade das sementes intolerantes, resultados dos danos oxidativos. A exposição dos ácidos graxos à oxidação, causada pela desestruturação da membrana, é um dos principais fatores depreciativos da qualidade da bebida dos grãos, onde ocorre a rancificação do produto. A rancidez é percebida mediante compostos indesejáveis causados pelas reações de oxidação e hidrólise de certos componentes, principalmente dos lipídios, que tornam o produto indesejável para o consumo (Tawfik & Huyghebaert, 1999).

Na figura 4, é observado o perfil eletroforético da isoenzima esterase (EST).

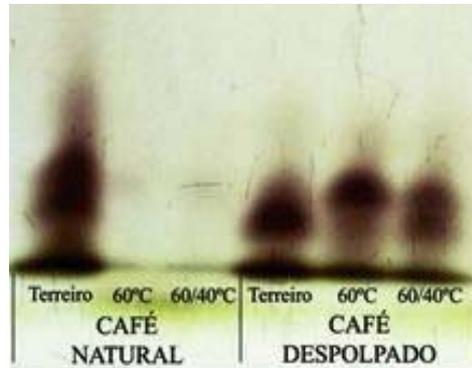


FIGURA 4 Perfil eletroforético da isoenzima esterase (EST) de grãos de café submetidos aos processamentos via seca e via úmida, e aos tratamentos de secagem no terreiro, 60°C e 60/40°C.

Quanto à enzima esterase, observa-se no perfil eletroforético (Figura 4) que as atividades reveladas no gel não apresentam resultados consistentes. Observa-se que dentre os cafés despulpados, os grãos secados em terreiro, os quais apresentaram o melhor desempenho fisiológico, aparentemente têm maior atividade da esterase do que os submetidos a 60/40°C, mas atividade semelhante aos secados sob 60°C, mais deteriorados. No entanto, grãos mais danificadas pela secagem, ou seja, os naturais secados em terreiro, apresentaram maior atividade da esterase do que os despulpados, também secados em terreiro. Além disso, os tratamentos com o pior desempenho fisiológico, cafés naturais secados em secador, não apresentaram qualquer atividade. Muito embora os rigores das condições de secagem sob alta temperatura, dos grãos naturais, possam ter causado danos a esse sistema enzimático, os resultados não apresentam coerência.

A enzima esterase participa das reações de hidrólise de ésteres, podendo também atuar sobre os fosfolipídios de membrana. Vários autores constataram aumentos na atividade e no número de bandas dessa enzima em sementes envelhecidas ou danificadas (Chauhar et al., 1985; Aung & McDonald, 1995). Brandão Júnior (2000) observou o aumento na atividade da esterase nas sementes de café.

Por outro lado, Brandão Júnior (1996) observou diminuição na atividade de um grupo de bandas da esterase e o aparecimento de outras bandas com o aumento do tempo de envelhecimento de sementes de milho. Esse autor explicou o aparecimento de novas bandas como sendo causada pela ação de fungos de armazenamento, o que pode ser confundido com aumento na atividade da enzima. Vieira (1996), também observou um aumento no número e intensidade de bandas para a esterase em sementes de algodão envelhecidas, o que provavelmente ocorreu pela presença de fungos de armazenamento. Assim, a utilização dessa enzima como marcador molecular de processos deteriorativos seria pouco indicada, conforme comentários desses autores.

Na figura 5, é observado o perfil eletroforético da enzima polifenoloxidase (PPO).



FIGURA 5 Perfil eletroforético da enzima polifenoloxidase (PPO) de grãos de café submetidos aos processamentos via seca e via úmida, e aos tratamentos de secagem no terreiro, 60°C e 60/40°C.

A intensidade da PPO (Figura 5) foi bem diferenciada entre os cafés naturais e despulpados. Os cafés naturais apresentaram menor atividade da enzima em contraste aos cafés despulpados, que apresentaram alta intensidade. Essa enzima, *in vivo*, se encontra ligada às membranas celulares e é ativada quando é liberada das mesmas. A PPO atua sobre os compostos fenólicos, os quais dão ao café sabor adstringente quando em quantidades elevadas (Clifford, 1999). No entanto, esses compostos têm a importante função antioxidante e de proteção dos aldeídos, destacando-se entre eles os ácidos clorogênicos e o caféico. Quando ocorrem danos em membranas, essas enzimas são liberadas e ativadas, podendo reagir com substratos fenólicos intra e extracelulares, oxidando-os e transformando-os em quinonas (Amorim, 1978) as quais, segundo

Whitaker (1972), são responsáveis por inibirem a atividade da PPO. Isso explica a baixa atividade da PPO nos cafés naturais, evidenciando maiores danos nas membranas dos cafés naturais secados no secador. Esses resultados confirmam os obtidos por Lima (2005), que observou que os cafés despulpados apresentaram alta atividade da enzima PPO e qualidade fisiológica. A alta atividade da PPO observada no café despulpado é um indicativo de que integridade das membranas celulares foi preservada.

Na figura 6, são observados os perfis eletroforéticos da enzima malato desidrogenase (MDH) e isocitrato desidrogenase (IDH).

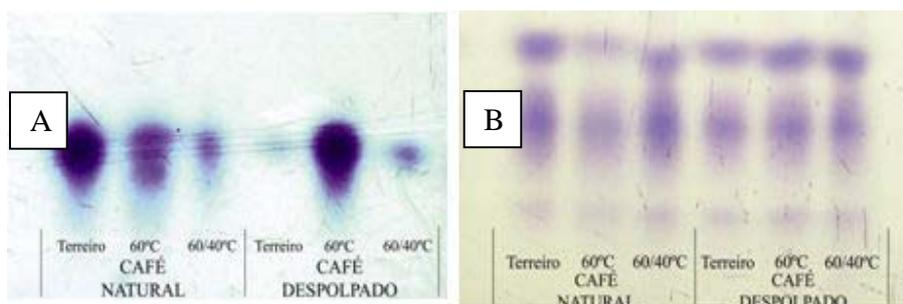


FIGURA 6 Perfil eletroforético das isoenzimas: A) isocitratodesidrogenase (IDH) e B) malatodesidrogenase (MDH) de grãos de café submetidos aos processamentos via seca e via úmida, e aos tratamentos de secagem no terreiro, 60°C e 60/40°C.

A isocitrato desidrogenase (IDH) está relacionada com a respiração aeróbica, tendo importante função no ciclo de Krebs. A atividade dessa enzima (Figura 6A) foi mais observada no café natural, principalmente quando secado no terreiro, e, no entanto, quando secado a 60°C e a 60/40°C, apresentou atividade menos intensa. Já no café despulpado, a sua maior atividade foi

observada quando o café foi secado a 60°C, e quase nenhuma atividade quando o café foi secado a 60/40°C e no terreiro. Um aspecto bastante relevante, é que ao submeter os grãos a diferentes temperaturas, ocorre uma aceleração na respiração, e se não houver disponibilidade de oxigênio, podem ocorrer várias mudanças da via aeróbica, que é a via normal de respiração, para uma via alternativa, a rota anaeróbica (Lima et al., 2004). No presente experimento, pode-se observar pelo zimograma, que podem ter ocorrido várias dessas mudanças nas rotas de respiração dos grãos durante o processamento e a secagem, determinando as diferentes formas de atividade da IDH. No café, no entanto, essas mudanças necessitam de estudos mais aprofundados para a determinação do momento em que ocorrem durante o processamento e secagem dos grãos, principalmente devido à sensibilidade apresentada por essa enzima.

Ao contrário da IDH, a álcool desidrogenase (ADH) atua no metabolismo anaeróbico de plantas, reduzindo o acetaldeído a etanol (Vantoai et al., 1987). De acordo com Zhang et al. (1994) o acetaldeído é um importante fator que acelera a deterioração das sementes ou grãos. Porém, não foi detectada qualquer atividade da ADH nos grãos de café nesta pesquisa (zimograma não apresentado). Pertel et al. (2001), concluiu que as sementes de café com alto vigor, apresentaram menor atividade da enzima MDH, apresentando respiração aeróbica típica de tecido vigoroso.

A atividade da enzima malato desidrogenase (MDH) (Figura 6B) foi semelhante em todos os tratamentos de secagem, tanto para os cafés naturais quanto para os cafés despulpados. Assim como a ADH e a IDH, a MDH é uma enzima da rota respiratória e tem importante função, pois catalisa a reação de malato a oxalato na última reação do ciclo de Krebs (Conn & Stumpf, 1980). Kalpana & Mandhava-Rao (1997), observaram uma diminuição na atividade dessa enzima em sementes de guandu envelhecidas. Por outro lado, Shatters et al. (1994) e Brandão Júnior (1996), observaram que a atividade da malato

desidrogenase foi a menos afetada pelos tratamentos de envelhecimento em sementes de soja e milho, respectivamente. Em sementes de café, Lima (2005), atribuiu maior intensidade das bandas em sementes de café que passaram pelo processo de despulpamento, sugerindo que tenha ocorrido mudança na rota de respiração de aeróbica para anaeróbica.

Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que o café processado via úmida, o café despulpado, adquire durante esse processo maior tolerância à dessecação estando menos sujeito à deterioração do que os cafés naturais. Sugere-se, portanto, que em outras pesquisas sejam estudadas as transformações, não somente após o despulpamento e secagem, mas sim ao longo de todo o processo. Com isso seria possível detectar as mudanças no momento em que ocorrem.

No presente trabalho, foram abordadas análises sensíveis e específicas dos grãos de café, as quais permitiram detectar algumas transformações ocorridas nos grãos durante o processamento e a secagem. Esta pesquisa vem elucidar alguns eventos que ocorrem no interior dos grãos e ainda não tinham sido estudados, e ainda, contribuir com o universo de informações sobre o café. Isso se torna de grande valia para os estudos relacionados às tecnologias pós-colheita do café, os quais buscam o aprimoramento de técnicas que levem à qualidade superior do café.

4 CONCLUSÕES

O processamento do café via seca interfere na atividade enzimática, reduzindo substancialmente a atividade de algumas enzimas.

As atividades enzimáticas foram mais intensas nos grãos despolpados do que nos naturais.

Os resultados desta pesquisa indicam que a análise da atividade das proteínas *lea* e isoenzimas são ferramentas promissoras para diferenciar, bioquimicamente, os cafés submetidos a diferentes processos pós-colheita.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGULLO, J. O.; MARENIA, M. O. Airflow resistance of parchment Arabica coffee. **Biosystems Engineering**, v. 91, n. 2, p. 149-156, June 2005.

ALFENAS, A. C.; PETERS, I.; BRUCE, W.; PASSADOS, G. C. **Eletrofese de proteínas e isoenzimas de fungos e essências florestais**. Viçosa: UFV, 1991. 242 p.

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

AUNG, U. T.; MCDONALD, M. B. Changes in esterase activity associated with peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed deterioration. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 23, n. 1, p. 101-111, Apr. 1995.

BAILLY, C.; BENAMAR, A.; COBINEAU, F.; CÔME, D. Changes in malondialdehyde content and in superoxide de dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seeds as related to deterioration during accelerated aging. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 97, n. 1, p. 104-110, May 1996.

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

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

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum, 1985. 367 p.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum, 1994. 445 p.

BLACK, M.; CORBINEAU, F.; GEE, H.; CÔME, D. Water content, raffinose, and dehydrins in the induction of desiccation tolerance in immature wheat embryos. **Plant Physiology**, Rockville, v. 120, n. 2, p. 463-471, June 1999.

BLACKMAN, S. A.; OBENDORF, R. L.; LEOPOLD, A. C. Desiccation tolerance in developing soybean seeds: the role of stress proteins. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 93, n. 4, p. 630-638, Apr. 1995.

BLACKMAN, S. A.; WETTLAUFER, S. H.; OBENDORF, R. L.; LEOPOLD, A. C. Maturation proteins associated with desiccation on tolerance in soybean. **Plant Physiology**, Rockville, v. 96, n. 3, p. 868-874, July 1991.

BORÉM, F. M. Processamento do café. In: _____. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. 631 p.

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após a secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, set./out. 2008a.

BORÉM, F. M.; SAATH, R.; ALVES, E.; TAVEIRA, J. H. S.; OLIVEIRA, P. D. Caractization of the moment of endosperm cell damage during coffee drying. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Proceedings...** Campinas: ASIC, 2008b. p. 14-19.

BRANDÃO JÚNIOR, D. da S. **Eletroforese de proteína e isoenzima na avaliação da qualidade de sementes de milho**. 1996. 110 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BRANDÃO JÚNIOR, D. E. **Marcadores de tolerância à dessecação de sementes de cafeiro**. 2000. 144 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

- BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; KRAMER, D.; BREITENSTEIN, B.; BERGERVOET, J. H. W.; GROOT, P. C.; SELMAR, D. Transient occurrence of seed germination processes during coffee post-harvest treatment. **Annals of Botany**, v. 100, n. 1, p. 61-66, July 2007.
- CHAURAN, K. P. S.; GOPINATHAN, M. C.; BABU, C. R. Eletrophoretic variations of proteins and enzymes in relation to seed quality. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 13, n. 1, p. 629-641, Apr. 1985.
- CHEN, Y.; BURRIS, J. S. Desiccation tolerance in maturing maize seed: membrane phospholipid composition and thermal properties. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 3, p. 766-770, May 1991.
- CLINFFORD, M. N. Chlorogenic acids and other cinnamates nature, occurrence and dietary burden. **Journal of Science Food and Agriculture**, London, v. 79, n. 3, p. 363-372, Mar. 1999.
- CONN, E. E.; STUMPF, P. K. **Introdução à bioquímica**. São Paulo: E. Blucher, 1980. 525 p.
- COUTINHO, W. M.; SILVA-MANN, R.; VIEIRA, M. G. G. C.; MACHADO, C. F.; MACHADO, J. C. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho submetidas à termoterapia e condicionamento fisiológico. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 458- 464, nov./dez. 2007.
- FARIA, R. V. A. M.; PINHO, R. G. von; PINHO, E. V. de R. von; GUIMARÃES, R. M. **Marcadores moleculares da qualidade fisiológica desementes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 51 p.
- FORTES, M.; FERREIRA, A. D.; FERREIRA, W. R.; SOUZA, A. C. Modelagem de um condicionador de ar de alta precisão para uso em processamento agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 578-589, maio/ago. 2006.
- GOODMAN, B. A. The involvement of O₂: derives free radical in plantpathogen interactions. In: CRAWOFORD, R. M. M.; HENDRY, G. A. F.; GOODMAN, B. A. (Ed.). **Oxygen and environmental stress in plants**. Edinburgh: Royal Society of Edinburgh, 1994. p. 155-165. (Biological Sciences).

GUIMARÃES, R. M. **Tolerância à dessecação e condicionamento fisiológico em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica*, L.)**. 2000. 180 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, R. M.; VIEIRA, M. G. G. C.; FRAGA, A. C.; PINHO, E. V. R. von; FERRAZ, V. P. Tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica*, L). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 128-139, jan./fev. 2002.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Lipid peroxidation: a radical chain reaction. In: _____. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford: Clarendon, 1989. p 188-276.

HENDRY, G. A. F. Oxygen and free radical processes in seed longevity. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 3, p. 141-153, Sept. 1993.

HENDRY, G. A. F.; FINCH-SAVAGE, W. E.; THORPE, P. C.; ATHERTON, N. M.; BUCKLAND, S. H.; NILSSON, K. A.; SEEL, W. E. Free radical processes and loss of seed viability during desiccation in the recalcitrant species *Quercus robur* L. **New Phytologist**, London, v. 122, n. 2, p. 273-279, Oct. 1992.

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

KALPANA, R.; MADHAVA-RAO, K. V. Protein metabolism of seeds of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) cultivars during accelerated ageing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 25, n. 2, p. 271-279, July 1997.

KERMODE, A. R. Regulatory mechanisms involved in the transition from seed development to germination. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 9, n. 2, p. 155-195, 1990.

KERMODE, A. R. Approaches to elucidate the basics of desiccation-tolerance in seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 7, n. 2, p. 75-95, June 1997.

LEPRINCE, O.; DELTOUR, R.; THORPE, P. C.; ATHERTON, N. M.; HENDRY, G. A. F. The role of free radicals and radical processing systems in loss of desiccation tolerance in germinating maize (*Zea mays* L.) **New Phytologist**, London, v. 116, n. 4, p. 573- 580, Dec. 1990.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; MCKERSIE, B. D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 4, p. 231-246, Dec. 1993.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; ATHERTON, N. M. Free radical processes induced by desiccation in germinating maize : the relationship with respiration and loss of desiccation tolerance. **Proceedings of the Royal Society of Edinburg Section B: Biological Sciences**, Edinburgh, v. 102B, p. 211-218, 1994.

LEPRINCE, O.; VERTUCCI, C. W.; HENDRY, G. A. F.; ATHERTON, N. M. The expression of desiccation-induced damage in orthodox seeds is a function of oxygen and temperature. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 94, n. 2, p. 233-240, June 1995.

LI, C.; SUN, W. Desiccation sensitivity and activities of free radical-scavenging enzymes in recalcitrant *Theobroma cacao* seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 9, n. 3, p. 209-217, Sept. 1999.

LIMA, D. M. **Armazenabilidade de sementes de *Coffea arabica* L. e de *Coffea canephora* Pierre, submetidas a diferentes métodos de desmucilagem e de secagem**. 2005. 106 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LIMA, S. M. P.; GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, J. A.; VIEIRA, M. G. C. Efeitos de tempos e temperaturas de condicionamento sobre a qualidade fisiológica de sementes de cafeeiro (*coffea arábica* L.) sob condições ideais e de estresse térmico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 505-514, maio/jun. 2004.

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

MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. 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, B. Orthodox seed deterioration and its repair. In: BENECH-ARNOLD, R. L.; SANCHEZ, R. A. (Ed.). **Handbook of seed physiology: applications to agriculture**. New York: The Haworth, 2004. p. 125-165.

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

NKANG, A.; OMOKARO, D.; EGBE, A. Effects of desiccation on the lipid peroxidation and activities of peroxidase and polyphenoloxidase in seeds of *Telfairia occidentalis*. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 28, n. 1, p. 1-9, Apr. 2000.

PERTEL, J.; DIAS, D. C. F. S.; DIAS, L. A.; DOS, S.; ALVARENGA, E. M. Efeito do condicionamento fisiológico na germinação e no vigor de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 3, p. 39-45, 2001. Especial Café.

PUNTARULO, S.; GALLEANO, M.; SANCHEZ, R. A.; BOVERIS, A. 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.

RICE-EVANS, C. A.; DIPLOCK, A. T.; SYMONS, M. C. R. **Techniques in free radical research**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. v. 22, 291 p.

SCANDALIOS, J. G. Oxygen stress and super oxide dismutase. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 1, p. 7-12, Jan. 1993.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; BRADBURY, A.; WILKENS, J.; BECKER, R. Biochemical insights into coffee processing: quality and nature of green coffee are interconnected with an active seed metabolism. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN COFFEE SCIENCE, 20., 2004, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: ASIC, 2004. 1 CD-ROM.

SHATTERS, R. G.; ABDELGHANY, A.; ELBAGOURY, O.; WEST, S. H. Soybean seed deterioration and response to priming: changes in specific enzyme activities in extracts from dry and germinating seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 1, p. 33-41, Mar. 1994.

SUNG, J. M. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes associated with accelerated aging of peanut seed. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 91, n. 1, p. 51-55, May 1994.

SUNG, J. M.; CHIN, C. C. Lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzymes of naturally aged soybean seed. **Plant Science**, Limerick, v. 110, n. 1, p. 45-52, Sept. 1995.

VANTOAÍ, T. T.; FAUSEY, N. R.; MCDONALD JÚNIOR, M. B. Anaerobic metabolism enzymes as marker of flooding stress in maize. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 102, n. 1, p. 33-39, 1987.

TAWFIK, M. S.; HUYGHEBAERT, A. Interaction of packaging materials and vegetable oils: oil stability. **Food Chemistry**, Oxford, v. 64, n. 4, p. 451-459, Mar. 1999.

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.)**. 1996. 127 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

WALTERS, C.; RIED, J. L.; SIMMONS, M. K. W. Heat-soluble proteins extracts from wheat embryos have tightly bound sugars and unusual hydration properties. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 7, n. 2, p. 125-134, June 1997.

WHITAKER, J. R. Polyphenol oxidase. In: _____. **Principles of enzymology for the food sciences**. New York: M. Dekker, 1972. cap. 22, p. 571-582.

WILSON, D. O.; MCDONALD, M. B. The lipid peroxidation model of seed ageing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 14, n. 2, p. 269-300, July 1986.

WINSTON, G. W. Physicochemical basics for free radical formation in cells: production and defenses. In: ALSCHER, R. G.; CUMMINGS, J. R. (Ed.). **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. New York: W. Liss, 1990. p. 57-86.

WOLKERS, W. F.; BOCHICCHIO, A.; SELVAGGI, G.; HOEKSTRA, F. A. Fourier transform infrared microscopy detects changes in protein secondary structure associated with desiccation tolerance in developing maize embryos. **Plant Physiology**, Rockville, v. 116, n. 3, p. 1169-1177, Mar. 1998.

ZHANG, M.; MAEDA, Y.; FURIHATA, Y.; NAKAMAR, Y.; ESASHI, Y. A mechanism of seed deterioration in relation to the compounds evolved by dry seeds themselves. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 1, p. 49-56, Mar. 1994.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na pós-colheita do café o processamento e secagem têm sido considerados os fatores que mais impactos causam na qualidade final da bebida, sendo por isso bastante estudados. Pelos relatos existentes na literatura não há dúvidas de que os cafés processados por via seca e por via úmida possuem qualidades distintas. Embora essas diferenças não estejam ainda bem elucidadas, pesquisas recentes têm mostrado inúmeros efeitos do processamento e secagem na qualidade do café, fornecendo informações importantes para um melhor entendimento de como a qualidade pode ser preservada durante a pós-colheita.

O presente trabalho possui um caráter inovador, o qual buscou relacionar a qualidade fisiológica dos grãos de café sob diferentes formas de processamento e secagem e a sua qualidade sensorial, chegando a resultados surpreendentes. Desenvolvido de acordo com linhas de pesquisas atuais que abordam os aspectos fisiológicos na pós-colheita do café, permitiu esclarecer alguns dos processos e transformações que ocorrem nos frutos e grãos de café durante o seu manejo na pós-colheita, especialmente nas etapas de processamento e secagem.

No presente experimento, o café despulpado apresentou uma melhor qualidade fisiológica ao final da secagem, sendo mais tolerante às condições adversas em todas as situações de secagem em secador. Já o café natural, quando secado a 60°C e 60/40°C, apresentou-se bastante sensível e intolerante a esses tratamentos, com grande prejuízo à sua qualidade fisiológica, chegando inclusive a um possível estado de completa deterioração.

Pelos resultados de trabalhos anteriores, esperava-se que o tratamento de 60/40°C não fosse tão prejudicial aos grãos de café. No entanto, as análises fisiológicas indicaram que esse tratamento causou danos intensos e expressiva

redução na qualidade da bebida dos grãos de café, principalmente no natural, quando comparado aos cafés secados no terreiro.

A análise sensorial realizada logo após o término da secagem não apontou diferenças significativas entre os cafés naturais e despulpados. No entanto, as injúrias causadas aos grãos de café, indicadas pelas análises fisiológicas, poderão ter efeitos latentes e provavelmente irão aparecer ao longo do tempo. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de realizar análises fisiológicas dos grãos de café, ao longo do armazenamento.

Esta pesquisa dá margem a muitas questões que ainda não puderam ser respondidas, e sugere-se a realização desse experimento por mais uma ou duas safras para obtenção de mais informações, levando-se em consideração que análises químicas, físico-químicas e fisiológicas sensíveis às transformações que ocorrem nos grãos, durante o processamento e secagem possibilitariam o monitoramento dos eventos que acontecem durante a pós-colheita do café.

O condicionador de ar de laboratório de alta precisão utilizado nesse experimento mostrou-se bastante eficiente no controle da umidade relativa e da temperatura do ar de secagem, possibilitando uniformidade na aplicação dos tratamentos de secagem do café. Para alcançar maior rendimento operacional na realização de outros experimentos com esse secador, bem como para aplicação de maior número de tratamentos, seria conveniente o aumento da câmara de secagem, subdividindo-a em maior número de gavetas. Isso possibilitaria maior eficiência e maior capacidade de operação para a condução de novos experimentos.