

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS, SENSORIAIS E
MICROSCÓPICAS DO CAFÉ CEREJA
DESCASCADO EM FUNÇÃO DA TAXA DE
REMOÇÃO DE ÁGUA**

ELIZABETH ROSEMEIRE MARQUES

2006

ELIZABETH ROSEMEIRE MARQUES

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS, SENSORIAIS E MICROSCÓPICAS DO
CAFÉ CEREJA DESCASCADO EM FUNÇÃO DA TAXA DE
REMOÇÃO DE ÁGUA.**

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

Orientador

Prof. Flávio Meira Borém

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2006**

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

Marques, Elizabeth Rosemeire

Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água / Elizabeth Rosemeire Marques -- Lavras : UFLA, 2006.

85 p. : il.

Orientador: Flávio Meira Borém
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Café. 2. Secagem. 3. Qualidade. 4. Microscopia. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-663.93

ELIZABETH ROSEMEIRE MARQUES

**ALTERAÇÕES QUÍMICAS, SENSORIAIS E MICROSCÓPICAS DO
CAFÉ CEREJA DESCASCADO EM FUNÇÃO DA TAXA DE
REMOÇÃO DE ÁGUA.**

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 24 de março de 2006.

Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni

UNESP

Prof. Dr. Eduardo Alves

UFLA

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira UFLA

Prof. Flávio Meira Borém

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2006**

A Deus, nosso maior Mestre, a ele toda honra e toda glória.

DEDICO

Aos meus pais, Geraldo e Maria, pelo amor e incentivo. Aos meus irmãos, pela amizade e apoio constante.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado saúde, força e disposição para vencer mais esta etapa de minha vida.

Aos meus pais e irmãos, pelo incentivo, apoio e dedicação, que possibilitaram mais uma conquista.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Flávio Meira Borém, pela orientação e incentivo sempre constante, pelas críticas e sugestões, pela paciência e disposição, mesmo distante, durante a realização deste trabalho.

À professora Rosemary G.F.Alvarenga Pereira, pelos ensinamentos, sugestões e amizade.

Ao professor Eduardo Alves, pela disponibilidade, atenção e contribuições na realização deste trabalho.

Ao professor Marco Biaggioni, pelas sugestões e contribuições.

Ao professor Evaristo, pela disponibilidade e contribuição nas análises.

Ao professor Augusto Ramalho e ao doutorando Marcelo pelas contribuições nas análises estatísticas.

A colega Tatiane, pela disponibilidade e contribuição na realização dos ajustes nas análises.

Ao Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, pela matéria-prima concedida.

A pesquisadora Sttela Veiga, por ceder os secadores para realização do experimento.

Aos funcionários do CEPECAFÉ, pela ajuda na montagem do experimento.

Aos laboratoristas Cidinha, Eloísa, Samuel, Lili e Alzira, pelo auxílio nas realizações das análises químicas e ultra-estruturais.

Ao Sr. Israel, pela colaboração nas análises de prova de xícara.

Aos colegas e amigos Simone, Carlos Henrique, Cinara, Sandra, Reni, Paulo, Márcio, Gilberto e Elisângela, pela ajuda, sugestões, convivência e amizade durante o curso.

Aos graduandos Pablo, Lucas e Lasley, pela colaboração durante o experimento.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
CAPITULO 1.....	01
1 Introdução Geral.....	02
2 Referencial Teórico.....	04
2.1 Processamento do café.....	04
2.2 Avaliação da qualidade do café.....	07
2.2.1 Acidez graxa como índice de qualidade em grãos e sementes.....	09
2.3 Mecanismos de proteção das membranas celulares.....	12
2.4 Ultraestrutura.....	15
3 Referências Bibliográficas.....	17
CAPITULO 2: Secagem do café.....	24
1 Resumo.....	25
2 Abstract.....	26
3 Introdução.....	27
4 Material e Métodos.....	29
4.1 Caracterização e implantação do experimento.....	29
5 Resultados e Discussão.....	34
5.1 Variações do teor de água e da temperatura da massa de café durante a secagem.....	36
6 Conclusões.....	42
7 Referências Bibliográficas.....	43
CAPITULO 3: Análises químicas e sensoriais para determinação da qualidade do café.....	44
1 Resumo.....	45

2 Abstract.....	46
3 Introdução.....	47
4 Material e Métodos.....	49
4.1 Condutividade elétrica.....	49
4.2 Lixiviação de potássio.....	49
4.3 Acidez graxa.....	49
4.4 Açúcares totais, redutores e não-redutores.....	50
4.5 Classificação pela prova de xícara.....	51
4.6 Procedimento estatístico.....	51
5 Resultados e Discussão.....	52
5.1 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio.....	52
5.2 Acidez graxa.....	54
5.3 Açúcares totais.....	55
5.4 Açúcares redutores.....	56
5.5 Açúcares não-redutores.....	57
5.6 Qualidade da bebida.....	58
6 Conclusões.....	61
7 Referências Bibliográficas.....	62
CAPITULO 4: Estudos histoquímicos e ultra-estruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas de secagem.....	
1 Resumo.....	66
2 Abstract.....	67
3 Introdução.....	68
4 Material e Métodos.....	70
4.1 Amostragem.....	70
4.2 Análises histoquímicas e ultra-estruturais.....	70
4.3 Preparação das amostras para MEV.....	70
4.4 Preparação das amostras para MET.....	71

4.5 Ultramicrotomia.....	72
5 Resultados e Discussão.....	73
6 Conclusões.....	79
7 Considerações finais.....	80
8 Referências Bibliográficas.....	81
ANEXOS.....	82

RESUMO GERAL

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. **Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água.** Lavras: UFLA, 2006. 85p. (Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos).

Este trabalho teve como objetivos avaliar o efeito de diferentes períodos de pré-secagem em terreiro e temperaturas de secagem, na taxa de redução de água, na composição química, na qualidade da bebida do café e alterações na estrutura das membranas e paredes celulares do endosperma de grãos de café cereja descascado (*Coffea arabica L.*). O café foi submetido a dois tempos de pré-secagem, 1 e 3 dias de terreiro. Após a pré-secagem, o produto foi submetido à secagem em três secadores experimentais com camada fixa de 13 cm de espessura, utilizando-se três temperaturas médias na massa de café 40°C, 50°C e 60°C, com fluxo de ar de $20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ m}^{-2}$, com quatro repetições no tempo. Nos secadores, para o acompanhamento da perda de água e obtenção das curvas de secagem, as amostras foram pesadas a cada 1 hora. A secagem foi interrompida quando o café atingiu a massa correspondente ao teor de água de 11% (bu). As temperaturas da massa de café foram medidas a cada 30 minutos. Além das curvas de secagem, foram obtidas as curvas da taxa de redução de água. Observou-se que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura e do período de pré-secagem e que a taxa de remoção de água foi menor para a temperatura de 40°C e 3 dias de pré-secagem. Para a avaliação da qualidade, foram realizadas as seguintes análises: condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez graxa, açúcares totais, redutores e não-redutores. Verificou-se que a condutividade elétrica, a lixiviação de potássio e a acidez graxa aumentaram significativamente com a elevação da temperatura. O aumento no período de pré-secagem ocasionou redução na lixiviação de potássio e acréscimos nos valores de açúcares redutores. O período de três dias de pré-secagem possibilitou a obtenção de uma bebida de qualidade superior em relação a um dia de pré-secagem.

*Comitê orientador: Prof. Dr. Flávio Meira Borém-DEG-UFLA (Orientador)
Prof. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira - DCA-UFLA e Prof.
Dr. Eduardo Alves DFP-UFLA.

Nas análises histoquímicas e ultra-estruturais para avaliar alterações na membrana plasmática, foi possível observar, nos grãos secados a 40°C, a manutenção da compartimentalização dos corpúsculos de óleo, os quais apresentaram-se distribuídos uniformemente em todo o perímetro interno da membrana; o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular (lúmen) apresentou-se vazio. Em contraste, nos grãos de café secos a 60°C, observou-se a fusão dos corpúsculos de óleo formando grandes gotas no espaço intercelular, com total preenchimento do lúmen celular, indicando a ruptura da membrana plasmática e a ruptura e coalescência das vesículas celulares.

GENERAL ABSTRACT

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. **Chemical, sensorial and microscopic alterations of the peeled coffee cherry as related with water removal rate.** Lavras: UFLA, 2006. 85p. (Dissertation – Master in Food Science)

This work was intended to evaluate the effect of different temperatures and pre-drying periods on yard on the drying time, rate of water reduction, on the chemical composition, the quality of the beverage of coffee and cell alterations in the structure of the membranes and cell walls of the endosperm of peeled cherry coffee beans. The coffee was submitted to two pre-drying times, 1 and 3 days on yard. After the pre-drying, the produce was submitted to drying in three experimental dryers with fixed layer of 13 cm in thickness, by using three average temperatures in the coffee mass 40°C, 50°C and 60°C with an air flow of $20\text{m}^3 \text{m}^{-1} \text{m}^{-2}$ with four replicates in time. In the dryers, for monitoring of water loss and attainment of the drying curves, the samples were weighed every 1 hour. Drying stopped when the coffee reached the mass corresponding to 11% of moisture (bu). The temperatures of the coffee mass were measured every 30 minutes. In addition to the drying curves, curves of water reduction rates were obtained. It was observed that the drying time diminished as both temperature and the period of pre-drying increased and that the water removal rate was lesser for the temperature of 40°C and 3 days' pre-drying. For evaluation of quality, the following analyses were accomplished electrical conductivity, potassium leaching, fatty acidity, total sugars, reducing and non-reducing sugars and sensorial analyses. It was found that electrical conductivity, potassium leaching and fatty acidity increased significantly as temperature was risen. The increase in the pre-drying period caused reduction in the potassium leaching and increases in the values of reducing sugars. The 3-day pre-drying period enabled the obtaining of a beverage of superior quality in relation to one-day pre-drying.

*Guidance Committee: Prof. Dr. Flávio Meira Borém – DEG-UFLA (Adviser); Profª. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira – DCA-UFLA and Prof. Dr. Eduardo Alves DFP-UFLA.

In the histochemical and ultra-structural analyses to evaluate alterations in the plasmatic membrane, it was possible to observe in the beans dried at 40°C, the maintenance of the compartmentalization of the oil corpuscles, which presented themselves distributed uniformly all over the internal perimeter of the membrane; the space between the plasmatic membrane and cell wall (lumen) proved empty. In contrast, in the coffee beans dried at 60°C, the fusion of the oil corpuscles making up large oil drops in the intercellular space with the total fulfilling the cell lumen, denoting the rupture of the plasmatic membrane and the rupture and coalescence of the cell vesicles.

CAPÍTULO 1

REFERENCIAL TEÓRICO

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura é uma importante atividade para o nosso país, pela sua participação no contexto sócio-econômico e pela geração de emprego nas diferentes etapas do processo produtivo.

O estado de Minas Gerais é o maior produtor brasileiro de café, contribuindo com 47% da produção nacional. Estima-se que a produção no Brasil será 33,3 milhões de sacas, na safra 2005/2006 (CONAB, 2005).

Nos diversos segmentos produtivos, a busca por qualidade é uma das maiores preocupações. O café é um dos poucos produtos cujo valor cresce com a melhoria da qualidade. A qualidade da bebida do café é determinada pelo sabor e aroma, que estão associados às substâncias químicas existentes nos grãos. Fatores genéticos, ambientais, culturais e os métodos de colheita são importantes por afetarem diretamente a qualidade da bebida do café. Na pós-colheita, os parâmetros de secagem, como temperatura e taxas de secagem elevadas e métodos de armazenamento, apresentam também contribuições expressivas sobre a qualidade final do produto.

O processamento do café pode ser por via seca, que consiste na secagem dos frutos em sua forma natural, e por via úmida, que origina os cafés descascados, despolidos e desmucilados. Observa-se, entre os produtores, uma opção recente pelo café cereja descascado, devido à redução do seu volume com a eliminação da polpa, diminuindo a área ocupada no terreiro ou secador e a redução no tempo de secagem. Além disso, o café cereja descascado apresenta características organolépticas superiores, com aroma e doçura dos cafés brasileiros.

Diversas pesquisas foram feitas com o objetivo de avaliar o sistema de secagem, com a redução do consumo de energia, a eficiência dos secadores e

programas de simulação. Entretanto, são poucos os trabalhos com café cereja descascado submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem e sua relação com a qualidade da bebida e danos às membranas celulares.

Este trabalho teve, portanto, como objetivos gerais, avaliar o efeito de diferentes temperaturas de secagem e períodos de pré-secagem em terreiro, no tempo de secagem e na taxa de redução de água, bem como na estrutura da membrana e na qualidade do café cereja descascado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processamento do café

No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o café recém-colhido constitui-se de uma mistura de frutos verdes, cereja, passas, folhas, ramos, torrões e pedras. Após a colheita por derriça ao chão, no pano ou mecanizada, o café é submetido aos processos de separação das impurezas, que podem ser feitos por peneiramento manual ou por máquinas de pré-limpeza. Em seguida, o café deve passar pelo separador hidráulico, onde a separação é feita de acordo com a densidade dos frutos, ou seja, separando os cafés bóia (secos, brocados e mal granados) dos frutos cereja e verde. O processamento do café pode ser conduzido por via seca, que consiste em submeter os frutos à secagem em sua forma natural, ou por via úmida em que, antes da secagem, o café é submetido às operações de descascamento ou desmucilamento. O processamento por via úmida origina os cafés descascados, despolidos e desmucilados. Durante o processamento, cada lote formado deverá ser secado e armazenado separadamente. Este cuidado é extremamente importante quando se visa a produção de café com qualidade (Carvalho, 1994; Silva, 2000; Silva, 1995).

No Brasil, a secagem do café é realizada em terreiros, em secadores mecânicos ou combinando terreiros e secadores. Na secagem em terreiros, esparrama-se o produto em pisos, que podem ser de cimento, tijolo, chão batido ou asfalto. Este método é o mais utilizado pelos produtores em, pelo menos, uma das fases do processo de secagem. Atualmente os secadores mais utilizados para o café são os verticais de fluxo cruzado com câmaras de descanso, os secadores cilíndricos rotatórios e os secadores de camada fixa (Carvalho, 1994; Silva, 2000; Silva, 1995).

A secagem excessiva do café é responsável pela perda no peso final dos grãos, pelo aumento de grãos quebrados na fase do beneficiamento e por maiores gastos com mão-de-obra. Já a secagem insuficiente, acarreta danos à qualidade da bebida e ao aspecto dos grãos. A secagem do café é comparativamente mais difícil de ser executada do que a de outros produtos, em virtude do teor de água inicial ser bastante elevado, geralmente ao redor de 60%. Portanto a possibilidade de ocorrência de deterioração é maior na primeira fase da secagem. Deve-se assim, conduzir as operações de separação e secagem imediatamente após a colheita e um armazenamento em condições que permitam manter a qualidade do produto (Carvalho, 1994; Silva, 2000; Silva, 1995).

Os principais parâmetros de controle no processo de secagem são temperatura, umidade relativa, vazão do ar de secagem, tempo de residência do produto na câmara de secagem, taxa de secagem e teores de água inicial e final do produto (Borém, 1992; Carvalho, 1994; Silva, 1995).

Osório (1982) estudando a secagem de café natural em secadores de fluxos concorrentes e Pinto (1993), em secadores intermitentes de fluxos contracorrentes, utilizaram diferentes temperaturas de secagem 80°C, 100°C e 120°C e observaram que a temperatura de 120°C, proporcionou um menor consumo específico de energia e a temperatura de 80°C teve uma melhor qualidade final do produto.

Freire (1998) concluiu que o sistema de secagem em combinação foi energeticamente mais eficiente que o sistema a altas temperaturas, para secagem do café despulpado e possibilitou a obtenção de um café de boa qualidade.

Programa de simulação de secagem para café em camada fixa, com inversão de fluxos de ar foi desenvolvido por Berbert (1991), e verificou que a secagem com inversão periódica do fluxo de ar, para uma mesma altura de camada, apresentou uma maior uniformidade na massa de grãos e no teor de água final ao longo da camada. De Grandi et al. (2000), avaliando a eficiência de

secagem e a redução das diferenças de teor de água em um secador de camada fixa com sistema de revolvimento mecânico, verificaram que a operação de revolvimento, mostrou-se eficaz na diminuição das diferenças tanto de teor de água quanto de temperatura.

Os efeitos da secagem do café descascado e desmucilado em secadores horizontais rotativos com diferentes temperaturas na massa (40°C, 50°C e 60°C) e vazão de ar (85 e 103m³min⁻¹) utilizando GLP como combustível foi estudado por Octaviani (2000). Este autor observou que as secagens com temperaturas médias de 40,2°C a 56,1°C na massa de grãos não causaram prejuízos à qualidade sensorial do café descascado e desmucilado, obtendo bebidas classificadas como duras em todos os tratamentos.

São poucos os trabalhos envolvendo secagem de café cereja descascado; a maioria refere-se ao café natural e ao despulpado. Segundo Brando (1999), observa-se uma opção recente pelo café cereja descascado, devido tanto à redução do seu volume, diminuindo assim a área ocupada no terreiro e aumentando a capacidade do secador, como também à redução dos custos de secagem. Além disso, favorece a obtenção de cafés de qualidade, mantendo as características típicas de aroma, corpo e doçura dos cafés brasileiros.

Ribeiro (2003) avaliou a qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas médias de secagem na massa de café (40°C, 45°C e 50°C), fluxos de ar (20 e 30m³ min⁻¹ m⁻²) e períodos de pré-secagem de um e três dias de terreiro. Este autor verificou que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura e do período de pré-secagem, e a taxa de remoção de água foi menor para a temperatura de 40°C, fluxo de ar de 20 m³ min⁻¹ m⁻² e três dias de pré-secagem. Observou maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, e menor teores de açúcares totais nas amostras que foram secadas com a maior taxa de remoção de água.

A qualidade dos cafés cereja bóia e mistura submetidos a diferentes períodos de amontoamento e tipos de secagem foi avaliada por Oliveira (2002). Utilizando um secador experimental de camada fixa, com temperaturas de secagem de 45°C, 50°C e 55°C, este autor observou que a secagem a 55°C produziu amostras de café com maior número de defeitos e pior aspecto, principalmente para o café mistura.

Entende-se que revolvimento do café em secadores de camada fixa proporciona uma maior uniformidade na camada dos grãos, e que a secagem em altas temperaturas proporciona um menor consumo de energia. Entretanto, torna-se prejudicial à qualidade final do produto.

2.2 Avaliação da qualidade do café

No setor produtivo, a qualidade do café está relacionada à obtenção de produtos que conquistem excelentes preços no mercado. Para o setor agroindustrial, as propriedades químicas, físicas, sensoriais e higiênico-sanitárias devem estar de acordo com os padrões estabelecidos para que o café seja considerado de qualidade (Clifford, 1985; Mendonça, 2004; Sivetz, 1979).

Pesquisas têm sido feitas com o intuito de caracterizar quimicamente o grão de café e correlacionar a composição química com a qualidade da bebida.

A qualidade do café como bebida é determinada pelo sabor e aroma que são formados a partir de alterações químicas que podem ocorrer durante o seu processamento (Pereira, 1997). A acidez da bebida destaca-se como um dos principais aspectos analisados sensorialmente para avaliação da qualidade do café. A intensidade da acidez varia predominantemente em função das condições climáticas durante a colheita e secagem, do local de origem, do tipo de processamento e do estágio de maturação dos frutos. As ocorrências de fermentações indesejáveis na mucilagem dos frutos refletem acentuadamente na

composição ácida dos mesmos (Vilela et al., 1998). A bebida do café (*Coffea arabica L.*) é classificada como:

- Estritamente mole: bebida de sabor suavíssimo e adocicado.
- Mole: bebida de sabor suave, acentuado e adocicado.
- Apenas mole: bebida de sabor suave, porém com leve adstringência.
- Dura: bebida de sabor adstringente, gosto áspero.
- Riada: bebida com leve sabor iodofórmio ou ácido fênico.
- Rio: bebida com sabor forte e desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico.
- Rio zona: bebida de sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato.

Segundo Pereira (1997), nas operações pós-colheita, os frutos do cafeeiro sofrem variações no conteúdo de açúcares. Os açúcares, como vários constituintes químicos, também exercem influência no sabor característico do café, pois são precursores, juntamente com os aminoácidos e as proteínas, de produtos de reações durante a torração, que interferirão no sabor e aroma na prova de xícara, estando, assim, associados com a qualidade da bebida (Shankaranayana et al., 1974, citados por Lopes, 2000). Pimenta et al. (2000) observaram um aumento gradativo nos teores de açúcares redutores, não redutores e totais com a intensificação da maturação dos frutos, atingindo valores máximos no cereja, diminuindo quando os frutos secam na própria planta e perdem sua mucilagem.

Pereira et al. (2001) avaliaram a composição química dos grãos da cultivar Mundo Novo submetidos aos diferentes processamentos e observaram que os açúcares não redutores e os totais não diferiram entre os tratamentos. Entretanto, maiores teores de açúcares redutores foram encontrados em grãos no estágio cereja em relação aos grãos de café descascados e desmucilados. Segundo os autores, quando o fruto é secado com polpa e mucilagem, a qual é

rica em açúcares, podem ocorrer translocações desses componentes químicos para o interior do grão.

Os testes de lixiviação de potássio e condutividade elétrica têm se apresentado como indicadores consistentes da integridade de membranas celulares (Amorim, 1978; Prete, 1992). Os grãos, de acordo com o grau de integridade de suas membranas, ao serem imersos em água, lixiviam solutos citoplasmáticos com propriedades eletrolíticas e cargas elétricas no meio líquido que podem ser medidas por um condutivímetro. Assim, para uma amostra de café, a quantidade de defeitos irá influenciar a quantidade de íons lixiviados (Giranda, 1998; Prete, 1992), sendo o potássio o lixiviado em maior quantidade. Conseqüentemente, bebidas de pior qualidade (dura, riada e rio) apresentarão maiores índices de lixiviação de potássio, indicando uma menor integridade destas membranas, e cafés que sofrerem algum tipo de alteração terão suas membranas afetadas, como verificado por Pinto et al. (2000).

Vários autores observaram que existe uma relação positiva da condutividade elétrica com a lixiviação de potássio (Pinto et al., 2000; Amorim, 1978 e Prete, 1992). Reinato (2002) e Oliveira (2002) observaram maiores valores de lixiviação de potássio e condutividade elétrica em grãos de café secos sob temperaturas mais elevadas.

2.2.1 Acidez graxa como índice de qualidade em grãos e sementes

Mudanças expressivas nas principais reservas ocorrem quando as sementes se deterioram. Uma das modificações associadas à deterioração de sementes, em geral, é a sua acidificação (Abdul-Baki & Anderson, 1972). Estudos têm mostrado que esta acidificação é o resultado do aumento de ácidos graxos livres, de fosfatos ácidos e de aminoácidos, produzidos pelas lipases, fitases e proteases, respectivamente. Entre estes três grupos de compostos, o

maior e mais rápido aumento ocorre nos ácidos graxos (Smith & Berjak, 1995, citados por Pereira, 1999).

O processo de deterioração ou envelhecimento é definido como a perda da qualidade da semente ao longo do tempo (Coolbear, 1995, citado por Barros, 2004). Após atingir o ponto de maturidade fisiológica, alterações degenerativas ocorrem, reduzindo a qualidade fisiológica das sementes em função das condições adversas que precedem à colheita e dos cuidados durante as diferentes etapas de produção (Andrade e Borba, Dias e Marcos Filho, citados por Ribeiro, 1999). Segundo Biaggioni et al., (1998), durante o armazenamento, a hidrólise do material graxo inicia-se antes da hidrólise de carboidratos ou proteínas. Portanto, o teor de ácidos graxos livres pode ser usado como um indicador da deterioração dos grãos. Dessa forma, o uso do teste de ácidos graxos livres é de grande importância no monitoramento da qualidade das sementes, a partir da maturidade, pois a queda do vigor antecede a perda da viabilidade.

A análise de acidez graxa baseia-se na extração das gorduras e ácidos graxos de uma porção de grãos, de peso conhecido, utilizando-se tolueno como solvente (AACC, 1995). A sensibilidade deste teste como método para avaliar a deterioração em grãos armazenados é uma das principais vantagens, pois, a formação de ácidos graxos livres é uma das primeiras reações que ocorrem sob condições adversas de manejo pós-colheita (Soares, 2003).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas em grãos e sementes, apontando as vantagens e desvantagens do método de acidez graxa. França Neto et al., (1998), ao estudarem o efeito do enrugamento de soja causado por estresse térmico e hídrico sobre a qualidade do grão e da semente, concluíram que o índice de acidez e a porcentagem de ácidos graxos livres foram determinados no óleo extraído dos grãos. O aumento no percentual de grãos enrugados proporcionou redução significativa no peso seco de 100 sementes (12,40%). Contrariamente, o teor porcentual de proteína aumentou, significativamente,

nessas mesmas condições. Os autores atribuem este aumento à redução no teor de óleo ou à sua possível degradação, evidenciada pelo significativo aumento no porcentual de ácidos graxos livres e conseqüente aumento no índice de acidez do óleo. O enrugamento resulta em reduções significativas na qualidade de sementes e grãos de soja.

Soares (2003), avaliando o nível de ácidos graxos livres em grãos de soja danificados artificialmente, observou que o teste de acidez graxa foi eficaz para detectar os efeitos de danos térmico e mecânico em relação à testemunha e, comparado ao teste de tetrazólio, o índice de acidez graxa demonstrou ser mais preciso para detectar os efeitos latentes oriundos de tais danos. O mesmo autor ainda afirma que, para teste de acidez graxa, mostrou-se mais sensível em relação aos testes de qualidade industrial aplicados à soja, confirmando a significativa deterioração ocorrida durante o armazenamento, não detectada, porém, pelas análises de teor de óleo e rancidez.

Em arroz, Barros (2004) observou a tendência do nível de ácidos graxos livres acompanhar a classificação comercial do arroz por tipos. Assim, quanto pior o tipo comercial de grãos de arroz, maior o nível de ácidos graxos livres, confirmando a sensibilidade do teste. O mesmo autor também verificou que o teste de acidez graxa mostrou-se mais sensível para a avaliação da qualidade dos grãos de arroz para o tratamento dano mecânico. Já para o tratamento dano térmico, este não foi eficaz para a avaliação da qualidade, tendo os testes de rendimento de inteiros e índice de trincas sido os que apresentaram melhores indicações da perda da qualidade. Para o tratamento ocorrência de fungos, o teste de ácidos graxos livres apresentou valores elevados, mostrando-se mais eficiente para a indicação da deterioração do produto, deterioração esta não verificada pelo teste de rendimento de inteiros.

2.3 Mecanismos de proteção das membranas celulares

A água é importante, não somente como um solvente para reações bioquímicas que ocorrem nas células, mas também como um estabilizador da estrutura das suas membranas (Koster & Leopold, 1988).

Durante a secagem, dependendo da temperatura e taxas de secagem utilizadas podem ocorrer transformações químicas, físicas e fisiológicas nos grãos, que poderão provocar uma desorganização ou alterações da seletividade das membranas celulares, sendo um mecanismo de defesa contra os efeitos danosos durante a secagem (Ribeiro 2003).

Hoekstra et al. (2001) observaram, durante a retirada da água que a redução do volume celular, provoca uma aglomeração dos componentes citoplasmáticos e o conteúdo da célula torna-se viscoso, aumentando assim as chances para as interações moleculares, podendo causar a desnaturação de proteínas e fusão de membranas.

Segundo Guimarães (1999), com a secagem, a disposição dos fosfolipídios na membrana muda da configuração lamelar para uma configuração hexagonal, causando disfunção desta membrana, que pode ser reversível ou irreversível, dependendo do grau de dessecação e da natureza dos fosfolipídeos que a compõem. Este autor observou que as sementes ou grãos dispõem de alguns mecanismos de proteção capazes de manter os sistemas de membrana das células, as estruturas das macromoléculas e as substâncias de reserva em condições de readquirir suas funções fisiológicas quando as mesmas são reumbebidas. O desenvolvimento desses mecanismos depende de características genéticas das espécies, que determinam a presença de substâncias, como açúcares solúveis, antioxidantes, enzimas que atuam contra o sistema de oxidação lipídica e proteínas específicas. A presença destes

mecanismos pode ser intensificada ou reduzida, de acordo com a taxa de secagem ou com as condições do meio ambiente.

O acúmulo de açúcares não redutores tem sido associado com a aquisição de tolerância à dessecação. Existem evidências de que açúcares específicos, atuando como “substitutos da água”, podem prevenir os efeitos danosos da dessecação em sementes por estabilizarem membranas e proteínas e ou pela formação de vidro no citoplasma (Leprince et al., 1993). Diversos pesquisadores encontraram, nos tecidos de organismos tolerantes à dessecação, alta quantidade de sacarose e oligossacarídeos, como estaquiose e rafinose, e ausência ou reduzida quantidade de monossacarídeos redutores, como galactose, manose, frutose e glicose (Kuo et al., 1988 e Leprince et al., 1992).

A sacarose pode servir como principal agente de tolerância à dessecação em sementes; a rafinose age como um inibidor de cristalização da sacarose, já que esta tem alta tendência para cristalizar em condições secas, podendo induzir efeitos prejudiciais aos tecidos nestas condições. Na forma não cristalizada, a sacarose pode interagir com a superfície da membrana, provavelmente substituindo a água na manutenção da sua estrutura (Koster & Leopold 1988). Os oligossacarídeos estão amplamente distribuídos em muitas espécies de sementes, localizados em tecidos que permanecem viáveis após a dessecação, incluindo o embrião e a camada de aleurona de cereais (Brenac et al., 1997); podendo estar envolvidos com proteção das membranas durante a desidratação (Corbineau et al., 2000).

Segundo Roger et al., (1999), entre os açúcares não redutores, a sacarose destaca-se como sendo aquele encontrado em maior quantidade no grão de café e sua quantificação pode variar entre origem, espécies e tipo de processamento. Estes autores observaram o dobro de sacarose em grãos de café arábica maduros, em relação ao café robusta. Abraham (1992) encontrou porcentagem de

sacarose, em base seca, de 6% a 10% para *C. arabica* e de 5% a 7% para *C. canephora*.

Guimarães (2000), estudando o desenvolvimento de mecanismos de tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro em diferentes estádios de maturação, detectou apenas a sacarose nos embriões, não sendo encontrados açúcares, como a glicose, rafinose e estaquiose. Entretanto, carboidratos sozinhos são insuficientes para conferir tolerância à dessecação (Leprince et al., 1993).

Segundo Roger et al. (1999), a glicose e a frutose estão, entre os açúcares redutores, encontrados em maior quantidade em grãos crus, sendo predominantes no início da maturação dos frutos. Redwell et al. (2002) observaram que, pela ordem, a manose, a galactose e a glicose são os monossacarídeos presentes em maiores quantidades no grão cru e que os teores desses açúcares são reduzidos proporcionalmente em torrações.

Chabrilange et al. (2000) estudando tolerância à dessecação e teores de açúcares solúveis em dez espécies de sementes de café, não encontraram relação entre sementes sensíveis e resistentes a dessecação, com teores de açúcares como sacarose, rafinose e estaquiose.

Brandão Júnior (2000), estudando marcadores da tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro, observou em embriões que acréscimos no conteúdo de glicose e sacarose estão associados com proteção de sementes de cafeeiro contra danos na secagem e com aquisição da tolerância à dessecação.

2.4 Ultraestrutura

Neya et al. (2004) em análises ultraestruturais de tecidos após a embebição detectaram alterações na membrana celular. Seewaldt et al., (1981) observaram em sementes de soja reidratadas algumas alterações na estrutura da membrana.

As membranas celulares são citadas como um dos principais pontos de danos após a secagem e podem ser um indicador precoce do dano pela lixiviação de várias soluções citoplasmáticas (Crowe & Crowe, 1989).

Salazar et al. (1994) observaram que o manejo inadequado dos frutos de café nas fases pré e pós-colheita levam à degeneração das membranas e da parede celular, com a subsequente perda do controle da permeabilidade levando à deterioração mais rápida do grão.

De acordo com Basavarajappa et al. (1990), as primeiras mudanças que afetam a qualidade dos grãos têm sido atribuídas a vários processos bioquímicos, como acumulação de substâncias tóxicas e desnaturação de biomoléculas, em adição ao comprometimento da integridade de membranas. Este último pode ser manifestado pela quebra da permeabilidade celular, resultando em um aumento da lixiviação de eletrólitos (De Paula et al., 1994).

Estudos ultraestruturais de tecidos, após dessecação, têm revelado que a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria. Segundo Oliver & Bewley (1997), citados por Pammenter et al. (1998), maior tolerância à dessecação das sementes é observada na secagem lenta, devido ao tempo concedido para a indução e a operação dos mecanismos de proteção das membranas. A secagem rápida impede os processos de recuperação, sendo necessário mais tempo para os reparos na reidratação.

A alteração da estrutura de membranas celulares, ocasionada por temperaturas extremas, variações na umidade do ar e injúrias de secagem, induz a perda do poder germinativo de sementes de cafeeiro em decorrência da perda

de seletividade e da organização das membranas (Amorim et al., 1977). Brandão Júnior (2000) estudando em embriões a sensibilidade à dessecação em sementes de café, observou que as sementes colhidas no estágio verde apresentaram maiores danos ultraestruturais como: coalescência de corpos de lipídios e provável ruptura do sistema de membrana em relação às sementes colhidas no estágio verde cana e cereja. A espécie *C. canephora* apresentou-se mais sensível à dessecação do que a espécie *C. arabica*. As células mostraram avançada deterioração nas estruturas das membranas, mesmo após terem atingido a maturidade. Entretanto, as sementes de *C. arabica*, adquiriram tolerância à dessecação com o processo de maturação.

Goulart (2002), em estudos histoquímicos e morfológicos dos grãos de café de diferentes bebidas, observou, no café bebida mole, uma maior concentração de lipídeos nos bordos externos dos grãos e estes se apresentaram como corpos lipídicos globulares bem definidos no interior dos protoplastos. Com a perda da qualidade da bebida, observou-se que os lipídeos se apresentaram homogeneamente distribuídos por toda a superfície do tecido nos grãos de café bebida dura e riada. Nestes tipos de cafés, verificou-se que os lipídeos não mais se apresentaram em corpos lipídicos bem definidos, como no café mole, mas sim extravasados no interior das células e nos espaços intercelulares.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-BAKI, A. A.; ANDERSON, J. D. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In: KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Seed biology**. New York: Academic Press, 1972. p. 283-315.

ABRAHAM, K. O. **Guide on food products**. Bombay: Spelt Trade Publications, 1992. v. 2, p. 1-14. (Coffee & coffee products).

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC Methods 02-02A: fat acidity – rapid method, for grain. In: **Approved methods of the American Association of the Cereal Chemists**. St. Paul, 1995. v. 1, paginação irregular.

AMORIM H. V.; CRUZ, A. R.; DIAS, R. M.; GUTIERREZ, S. E.; TEIXEIRA, A. A.; MELLO, M.; OLIVEIRA, G. D. de Transformações químicas e estruturais durante a deterioração da qualidade de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1977. p. 15-18.

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

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, 1990.

BARROS, R. E. **Teste de acidez graxa na avaliação da qualidade de arroz**. 2004. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BERBERT, P. A. **Secagem de café (Coffea arábica L.), em Camada fixa, com inversão de Sentido de fluxo de Ar**. 1991. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

BIAGGIONI, M. A. M.; FERREIRA, W. A. Variação na germinação e nível de ácidos graxos livres durante o armazenamento de milho colhido mecanicamente.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1988, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998.

BORÉM, F. M. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade de sementes de milho (*Zea mays L.*) híbrido AG-303.** 1992. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BRANDÃO JUNIOR, D. da S. **Marcadores da tolerância à dessecação de sementes de café.** 2000. 144 p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BRANDO, C. H. J. Cereja descascado, desmucilado, fermentado, despulpado ou lavado In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Anais...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1999. p. 342-346.

BRENAC, P.; HORBOWICZ, M.; DOWNER, S. M.; DICKERMAN, A. M.; SMITH, M. E.; OBERNDORF, R. L. Raffinose accumulation related to desiccation tolerance during maize (*Zea mays L.*) seed development and maturation. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 150, n. 4, p. 481-488, Mar. 1997.

CARVALHO, N. M. de. **A secagem de sementes.** Jaboticabal. FUNEP, 1994. 165 p.

CHABRILLANGE, N.; DUSSERT, S.; ENGELMANN, F.; DOULBEAU, S. Desiccation tolerance in relation to soluble sugar contents in seeds of ten coffee (*Coffea L.*) species. **Seed Science Research**, Wallington, v. 10, n. 3, p. 393-396, Sept. 2000.

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

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.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra 2005/2006. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 08 dez. 2005.

CROWE, J. H.; CROWE, L. M. Differential desiccation sensitivity of corn an Pennisetum pollen linked to their sucrose contents. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 12, n. 1, p. 83-91, Jan. 1989.

DE GRANDI, A. M.; MELO, E. de C.; BERBERT, P. A.; MACHADO, M. C.; SILVA, J. de S. E. Eficiência da secagem de café (*Coffea arábica L.*), em secador de camada fixa vertical com revolvimento mecânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de caldas. **Anais...** Poços de caldas, 2000. v. 2, p. 1085-1089.

DE PAULA, M.; DARDER, M.; TORRES, M.; MARTÍNEZ-HONDUVILLA, C. J. Electrical conductivity changes in deteriorated sunflower seeds. **Acta Horticulture**, Wageningen, v. 362, p. 273-279, 1994.

FRANÇA NETO, J. B. et al. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 72 p. (Documentos, n. 116).

FREIRE, A. T. **Projeto e avaliação de um sistema para secagem combinada de café (*Coffea arábica L.*) despulpado**. 1998. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GIRANDA, R. do N. **Aspectos qualitativos de cafés (*Coffea arabica L.*) submetidos a diferentes processos de secagem**. 1998. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GOULART, P. de F. P. **Purificação da polifenol oxidase e avaliação de métodos bioquímicos para aferir a qualidade da bebida do café**. 2002. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, R. M. **Fisiologia de sementes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 129 p. (Curso de especialização pós-graduação “*Latu Sensu*”).

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.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 6, n. 9, p. 431-438, Sept. 2001.

KOSTER, K. L.; LEOPOLD, A. C. Sugars and desiccation tolerance in seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 3, p. 829-832, Nov. 1988.

KUO, T. M.; VANMIDDLESWORTH, J. F.; WOLF, W. J. Content of raffinose oligosaccharides and sucrose in various plant seeds. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 36, n. 1, p. 32-36, Jan/Feb. 1988.

LEPRINCE, O.; WERF, A. van der.; DELTOUR, R.; LAMBERS, H. Respiratory pathways in germinating maize radicles correlated with desiccation tolerance and soluble sugars. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 84, n. 4, p. 581-588, Apr. 1992.

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.

LOPES, L. M. V. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2000. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MENDONÇA, L. M. V. L. **Características químicas, físico-químicas e sensoriais de cultivares de *Coffea arabica* L.** 2004. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NEYA, O.; GOLOVINA, E. A.; NIJASSE, J.; HOEKSTRA, F. A. Ageing increases the sensitivity of neem (*Azadirachta indica*) seeds to imbibitional stress. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 14, n. 2, p. 205-217, June 2004.

OCTAVIANI, J. C. **Secagem de café cereja descascado desmucilado com utilização de gás liquefeito de petróleo**. 2000. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

OLIVEIRA, G. A. de. **Qualidade dos cafés cereja, bóia e mistura submetidos a diferentes períodos de amontoamento e tipos de secagem**. 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OSÓRIO, A. G. S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café**. 1982. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PAMMENTER, N. W.; GREGGAINS, V.; KIOKO, J. I.; WESLEY-SMITH, J.; BERJAK, P.; FINCH-SAVAGE, W. E. Effects a diferencial drying rates on viability retention of recalcitrant seeds of ekeberger capensis. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 8, n. 4, p. 463-471, Dec. 1998.

PEREIRA, R. G. F. A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica L.*) “estritamente mole”**. 1997. 96 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PEREIRA, P. A. **Alterações bioquímicas e germinação de sementes de paspalum paniculatum armazenadas sob diferentes condições**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Lavras, Lavras, MG.

PEREIRA, R. G. F. A.; VILLELA, T. C.; ANDRADE, E. T. de. Composição química de grãos de cafés (*Coffea arabica L.*), submetidos a diferentes tipos de pré processamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 826-831.

PIMENTA, C. J.; COSTA, L.; CHAGAS, S. J. de R. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e polifenóis em café (*Coffea arabica L.*), colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 23-30, 2000. Especial.

PINTO, F. de A. de C. **Projeto de um secador de fluxos contracorrentes/concorrentes e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea arabica L.*)**. 1993. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PINTO, N. A. V. D.; FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; CARVALHO, V. D. de. Efeito da polifenoxidase, lixiviação de potássio e condutividade elétrica nos grãos crus em diferentes padrões de bebida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2000, Marília. **Anais...** Marília, 2000. v. 26, p. 330-331.

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. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

REDGWELL, R. J.; TROVATO, V.; CURTI, D.; FISCHER, M. Effect of roasting on degradation and structural features of polysaccharides in Arabica coffee beans. **Carbohydrate Research**, London, v. 337, n. 5, p. 421-431, Mar. 2002.

REINATO, C. H. R. **Avaliação técnica, econômica e qualitativa do uso de lenha e GLP na secagem de café.** 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIBEIRO, D. M. C. A. **Adequação do teste de condutividade elétrica de massa e individual para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.).** 1999. 105 p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem.** 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROGERS, W. J.; MICHAUX, S.; BASTIN, M.; BUCHELI, P. Changes to the content of sugars, sugar alcohols, myo-inositol, carboxylic acids and inorganic anions in development grains from different varieties of Robusta (*Coffea canephora*) and Arabica (*C. Arabica*) coffees. **Plant Science**, London, v. 149, n. 2, p. 115-123, Dec. 1999.

SALAZAR, G. M. R.; RIANO, H. N. M.; ARCILA, P. J.; PONCED, C. A. Studio morfológico, anatômico y ultraestrutural Del fruto de café *Coffea arábica* L. **Cenicafé**, Caldas, v. 45, n. 3, p. 93-105, jul./sept. 1994.

SEEWALDT, V.; PRIESTLEY, D. A.; LEOPOLD, A. C.; FEIGENSON, G. W.; ZALDUONDO, F. G. Membrane organization in soybean seeds during hydration. **Planta**, Berlin, v. 152, n. 1, p. 19-23, 1981.

SILVA, J. de. S. **Secagem e armazenagem do café.** Viçosa, MG: UFV Jard Editora, 2000. 162 p

SILVA, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Instituto Maria, 1995. 509 p.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. In: **Coffee technology**. Westport, 1979. p. 527-575

SOARES, T. A. **Análise da acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja**. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SOUZA, S. M. C. de. **Produção de café com qualidade**. Lavras: EPAMIG-CRSM, 2000. 4 p. (EPAMIG-CRSM. Circular técnica; n. 119).

VILELA, E. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Pós-colheita e qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: armazenamento e processamento de produtos agrícolas. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 219-274.

CAPÍTULO 2

SECAGEM DO CAFÉ

1 RESUMO

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. Secagem do café. **In: Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água.** Cap.2, p.24-43. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes temperaturas de secagem e períodos de pré-secagem em terreiro no tempo de secagem e na taxa de redução de água. O café foi submetido a dois tempos de pré-secagem, 1 e 3 dias de terreiro. Após a pré-secagem, o produto foi submetido à secagem em três secadores experimentais com camada fixa de 13 cm de espessura, utilizando-se três temperaturas médias na massa de café (40°C, 50°C e 60°C), com fluxo de ar de $20\text{m}^3\text{m}^{-1}\text{m}^2$ e quatro repetições no tempo. Nos secadores, para o acompanhamento da perda de água e obtenção das curvas de secagem, as amostras foram pesadas a cada 1 hora. A secagem foi interrompida quando o teor de água da massa de café atingiu aproximadamente 11% (bu). A temperatura da massa de café foi medida a cada 30 minutos. Além das curvas de secagem, foram obtidas as curvas da taxa de redução de água. Observou-se que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura e do período de pré-secagem e que a taxa de remoção de água foi menor para a temperatura de 40°C e 3 dias de pré-secagem.

* Comitê orientador: Prof. Dr. Flávio Meira Borém-DEG-UFLA (Orientador)

Profª. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira-DCA-UFLA e

Prof. Dr. Eduardo Alves-DFP-UFLA.

2 ABSTRACT

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. Drying of coffee. **In: _ Chemical, sensorial and microscopic alterations of the peeled coffee cherry as related with the water removal rate.** Chap.2, p. 24-43. Dissertation (Master in Food Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras MG.

This work was aimed to evaluate the effect of different temperatures and pre-drying periods on yield on the drying time and water reduction rate. The coffee was submitted to two pre-drying times, 1 and 3 days on the yard. After pre-drying, the produce was submitted to drying in three experimental dryers with fixed layer of 13 cm in thickness, by using three average temperatures (40, 50 and 60°C), with air flow of $20\text{m}^3\text{m}^{-1}\text{m}^2$ and four replicates in time. In the dryers, for the monitoring of water loss and attainment of the drying curves, the samples were weighed every 1 hour. The drying was interrupted when the coffee moisture content reached the mass of approximately 11% (b.u). The temperature of the coffee mass was measured every 30 minutes. In addition to the drying curves, the curves of water reduction rate were obtained. It was observed that the setting time diminished as temperature and pre-drying period increased and that the rate of water removal was lesser for the temperature of 40°C and 3 days of pre-drying.

*Guidance Committee: Prof.Dr. Flávio Meira Borém – DEG-UFLA (Adviser);
Prof.a. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira-DCA-UFLA and
Prof. Dr. Eduardo Alves-DFP-UFLA.

3 INTRODUÇÃO

A secagem do café é uma das mais importantes etapas da pós-colheita e consiste na remoção de grande parte da água contida nos grãos. A secagem é um processo de transferência de energia e massa entre o produto e o ar de secagem, com o objetivo de reduzir o nível de umidade, permitindo a conservação da qualidade. No início, o produto está completamente úmido e a água retirada nesta fase está totalmente livre. No café, este período pode ser observado nas primeiras horas de secagem. À medida que a secagem prossegue, o teor de água decresce e, nesta etapa, toda a energia transferida para os grãos é usada na evaporação da água, mantendo constante a temperatura do produto. Ao final do processo, a quantidade de energia necessária para remover a água aumenta com a redução da umidade dos grãos. É nesta fase que ocorrem os maiores riscos de aquecimento do produto e, portanto, de redução da qualidade (Borém, 2004; Carvalho, 1994; Silva, 2000).

O café beneficiado possui, na maior parte da sua composição, carboidratos insolúveis em água. Em grãos de café com valores superiores a 11%, a água estará livre para diversas reações que comprometerão a armazenabilidade e a qualidade do produto (Borém, 2004; Carvalho, 1994; Weber, 1995).

Ribeiro et al. (2003) estudaram a taxa de redução de água, em função da temperatura (40°C, 45°C e 50°C), fluxo de ar (20 e 30 m³ min⁻¹ m⁻²) e período de pré-secagem (1 e 3 dias). Estes autores observaram que a maior taxa de redução de água foi para a temperatura de 50°C, fluxo de ar de 30 m³ min⁻¹ m⁻² e tempo de pré-secagem de um dia. Os menores valores de taxa de redução de água foram observados para a temperatura de 40°C, fluxo de ar de 20 m³ min⁻¹ m⁻² e três dias de pré-secagem.

Segundo Brando (1999), observa-se uma opção recente pelo café cereja descascado, devido tanto à redução do seu volume, diminuindo assim a área ocupada no terreiro, como também à redução dos custos de secagem. O café cereja descascado é conhecido como uma forma de agregar valor ao produto. Mudanças significativas na qualidade foram percebidas com a retirada da casca dos frutos de café e durante o armazenamento (Afonso Júnior et al., 2004).

São poucos os estudos envolvendo diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem e sua relação com a taxa de redução de água e a qualidade do café.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura de secagem, períodos de pré-secagem em terreiro e sua influência no tempo de secagem e na taxa de redução de água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização e implantação do experimento

Este trabalho foi desenvolvido no Setor de Sementes do Departamento de Agricultura.

O produto utilizado foi o café (*Coffea arabica L.*) cereja descascado. Na tentativa de diminuir a interferência de diferentes matérias-primas nos resultados, utilizou-se apenas uma cultivar (Catucaí) em todo o experimento. A colheita foi realizada manualmente, pelo sistema derriça no pano; em seguida, procedeu-se a separação hidráulica de todo o café em função da densidade dos frutos. A porção formada pelo café cereja foi descascada, e, posteriormente, submetida à pré-secagem em terreiro. Para realizar a pré-secagem, o café foi esparramado em terreiro de concreto no início da noite do mesmo dia em que foi colhido, em camadas de aproximadamente 1 cm e revolvido durante o dia a cada 30 minutos.

O café foi submetido a dois períodos de pré-secagem, 1 e 3 dias de terreiro. Após a pré-secagem, as amostras foram retiradas para se determinar o teor de água do café no início da secagem nos secadores. A determinação do teor de água foi realizada pelo método padrão de estufa $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (Brasil, 1992). Em seguida, foi submetido à secagem em três secadores experimentais com camada fixa de 0,13m de espessura, utilizando-se fluxo de ar de $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e três temperaturas médias na massa de café (40°C , 50°C e 60°C), com quatro repetições no tempo. Foram realizadas duas colheitas para cada repetição.

Para cada colheita, foram colhidos cerca de $0,9 \text{ m}^3$ de café. Após o descascamento, o café foi dividido em doze parcelas iguais, permanecendo aleatoriamente no terreiro seis dessas parcelas por apenas um dia e as demais por três dias, para redução do teor de água (Figura 1).

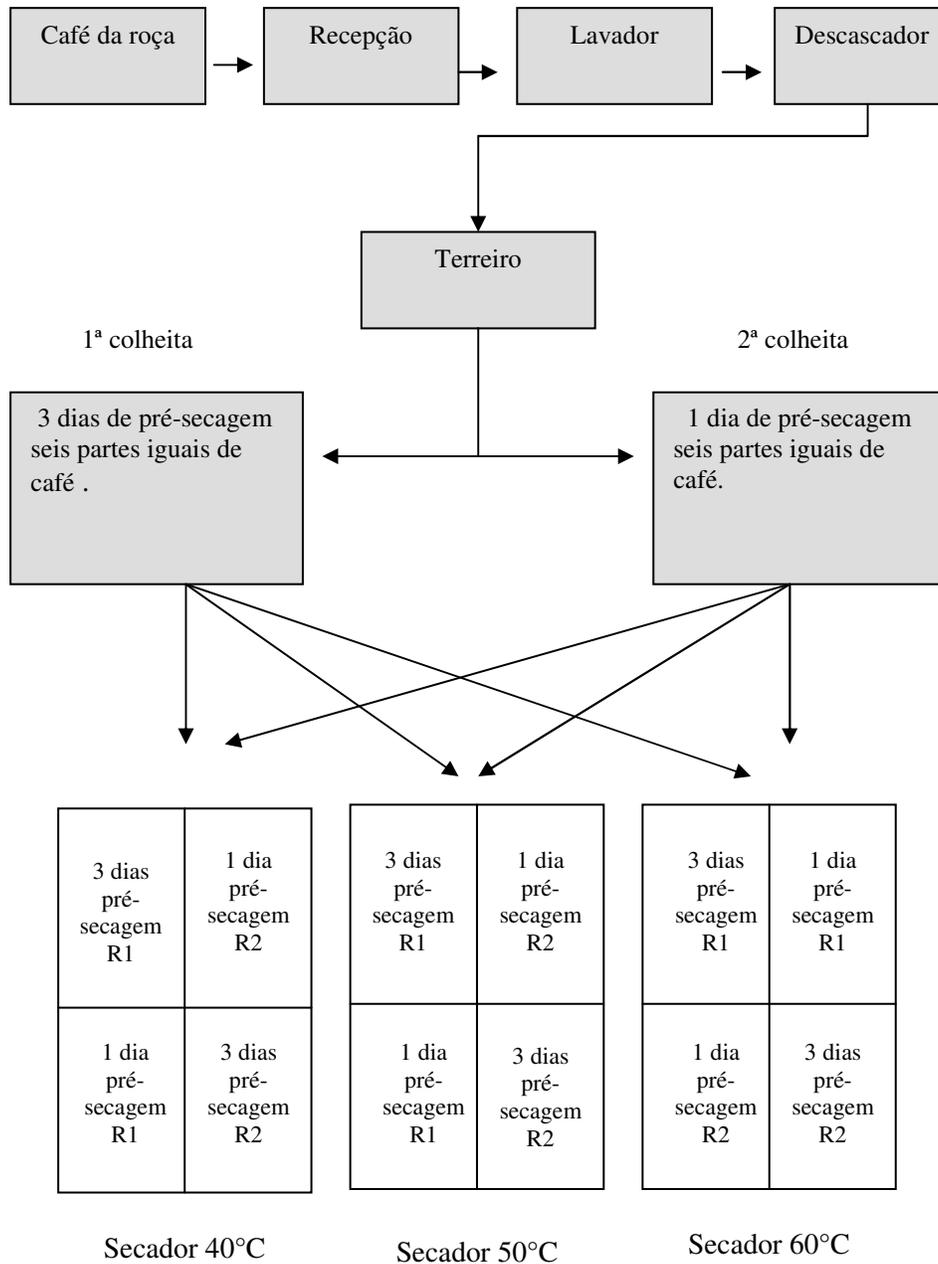
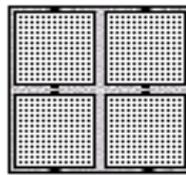
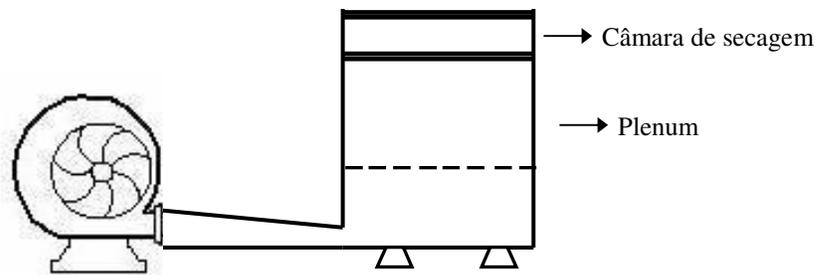


FIGURA 1 Fluxograma do delineamento experimental de cada repetição

Os secadores experimentais de camada fixa utilizados possuíam uma câmara de 0,61 X 0,61 X 0,61m, um elemento de expansão e um ventilador centrífugo acionado por um motor de 0,5cv (Figura 2). A câmara plenum continha um conjunto de resistências elétricas de 3.400 kw para aquecimento do ar de secagem e a câmara de secagem era composta por quatro divisões removíveis que receberam quatro das doze amostras pré-secadas no terreiro. Cada divisão recebeu, em média, 0,01m³ de café.



(a)

FIGURA 2 Vista lateral do secador experimental. (a) Detalhe das quatro divisões onde foram colocadas as amostras.

As temperaturas da massa e do ar de secagem foram medidas, a cada 30 minutos por meio de termopares tipo J colocados no centro da massa em cada divisão da câmara de secagem. As condições do ar de secagem foram medidas por meio de um anemômetro colocado na entrada e na saída de ar do secador. Para minimizar uma possível diferença de temperatura entre as quatro divisões devido à posição das resistências no plenum, foi realizado um rodízio das amostras a cada uma hora. Assim, a temperatura do ar de secagem foi fixada de maneira a obter os valores médios de temperatura estabelecidos para massa de café. A temperatura e a umidade relativa ambiente foram registradas diariamente em um termoigrógrafo.

Após cada secagem e resfriamento, amostras foram retiradas para determinar o teor de água final do café pelo método padrão de estufa a $105^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Para o acompanhamento da perda de água e obtenção das curvas de secagem, as amostras foram pesadas a cada uma hora. A redução do teor de água foi determinado a partir das equações 1 e 2.

$$M_f = M_i - (M_i * PQ) \quad (1)$$

$$PQ = \left\{ \left(\frac{U_i - U_f}{100 - U_f} \right) \right\} * 100 \quad (2)$$

em que:

U_f : teor de água final (% b.u.)

U_i : teor de água inicial (% b.u.)

M_f : massa de café final (kg)

M_i : massa de café inicial (kg)

PQ: porcentagem de quebra (%)

Além da curva de secagem foram obtidas as curvas de taxa de redução de água, definida como a quantidade de água que um determinado produto perde por unidade de matéria seca por unidade de tempo, calculado de acordo com a equação 3.

$$TRA = \frac{(Ma_o - Ma_i)}{(Ms * (t_i - t_o))} \quad (3)$$

em que:

TRA: taxa de redução de água (kg kg⁻¹ de matéria seca h⁻¹)

Ma₀: massa de água total anterior (kg)

Ma_i: massa de água total atual (kg)

Ms: matéria seca (kg)

t₀: tempo total de secagem anterior (h)

t_i: tempo total de secagem atual (h)

Em seguida, as amostras foram acondicionadas em embalagens de polietileno até o momento do beneficiamento para a realização das análises químicas, sensoriais e ultra-estruturais para a caracterização da qualidade do café.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água do café no início da secagem em terreiro foi em torno de 57,82 a 61,04%. A temperatura e a umidade relativa do ar na entrada do secador e a umidade relativa do ar de secagem referem-se a valores médios de registros diários em que o secador estava em funcionamento. A temperatura ambiente variou entre 17,2°C e 21,5°C e a umidade relativa variou entre 48,5% e 81,5%. A umidade relativa do ar de secagem para a temperatura de 40°C variou de 21,8% a 28,2%; para a temperatura de 50°C, variou de 14,1% a 26,2% e, para a temperatura de 60°C, variou de 14,5% a 22,4%.

Os valores médios da temperatura e a umidade relativa do ar ambiente na entrada do secador, a umidade relativa do ar de secagem e o teor de água inicial e final do café para cada tratamento, nas quatro repetições, estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 Valores médios das condições do ar ambiente e de secagem e o teor de água inicial e final do café para as quatro repetições.

Rep.	Temp. da massa (°C)	Período de pré-secagem (dias)	Teor de água (% b.u)		Condições do ar na entrada do secador		Ar de secagem UR (%)
			Inicial	Final	Temp. (°C)	UR (%)	
I	40°	1	40,9	9,4	17,2	62,8	28,2
	50°	1	41,6	9,2	19,1	60,1	18,6
	60°	1	41,3	9,7	21,4	66,3	16,0
	40°	3	26,5	8,7	17,2	62,8	28,2
	50°	3	26,5	8,6	19,1	60,1	18,6
	60°	3	26,4	7,7	21,4	66,3	16,0
II	40°	1	39,1	10,0	18,7	54,7	21,8
	50°	1	39,6	9,0	19,8	49,2	19,3
	60°	1	39,3	8,6	18,7	51,2	22,4
	40°	3	27,8	9,2	18,7	54,7	21,8
	50°	3	28,8	9,0	19,8	49,2	19,3
	60°	3	28,4	9,2	18,7	51,2	22,4
III	40°	1	40,4	11,4	17,2	52,1	24,2
	50°	1	40,2	11,3	19,8	52,8	26,2
	60°	1	40,8	10,2	17,7	56,0	22,0
	40°	3	27,7	11,5	17,2	52,1	24,2
	50°	3	27,5	11,3	19,8	52,8	26,2
	60°	3	27,3	11,7	17,7	56,0	22,0
IV	40°	1	37,9	11,6	23,0	42,6	23,5
	50°	1	34,8	8,9	24,1	38,3	14,1
	60°	1	35,3	9,0	22,0	47,6	14,5
	40°	3	23,1	11,6	23,0	42,6	23,5
	50°	3	22,7	11,3	24,1	38,3	14,1
	60°	3	22,5	11,0	22,0	47,6	14,5

Observa-se que o teor de água inicial para o café que permaneceu um dia no terreiro variou de 34,8 % a 41,6% (b.u) e, para o café que permaneceu no terreiro por três dias, variou de 22,5% a 28,8% b.u. O valor do teor de água final médio foi de 9,96% (b.u), com variação de $\pm 2,2$ pontos percentuais para todos os tratamentos

5.1 Variações do teor de água e da temperatura da massa de café durante a secagem

As variações médias da temperatura da massa de café e do teor de água durante a secagem estão apresentadas nas Figuras 3 e 4.

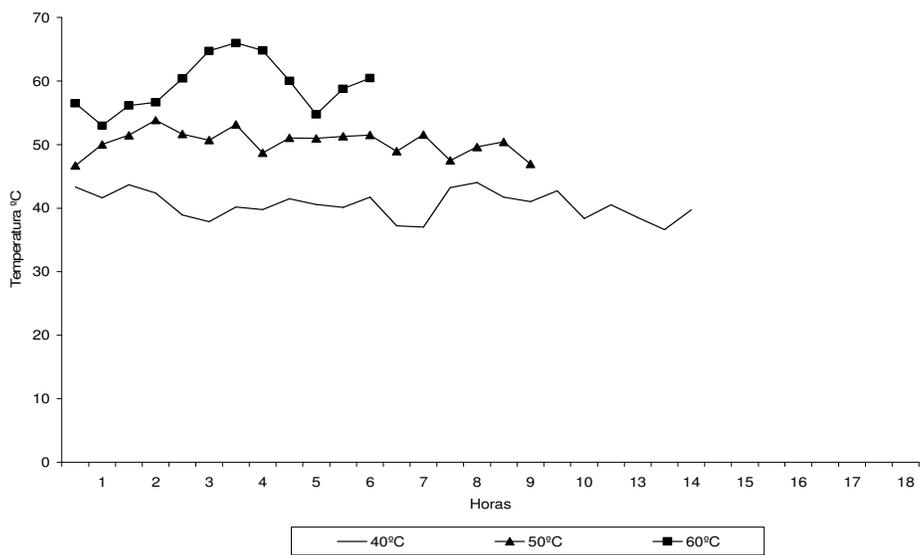
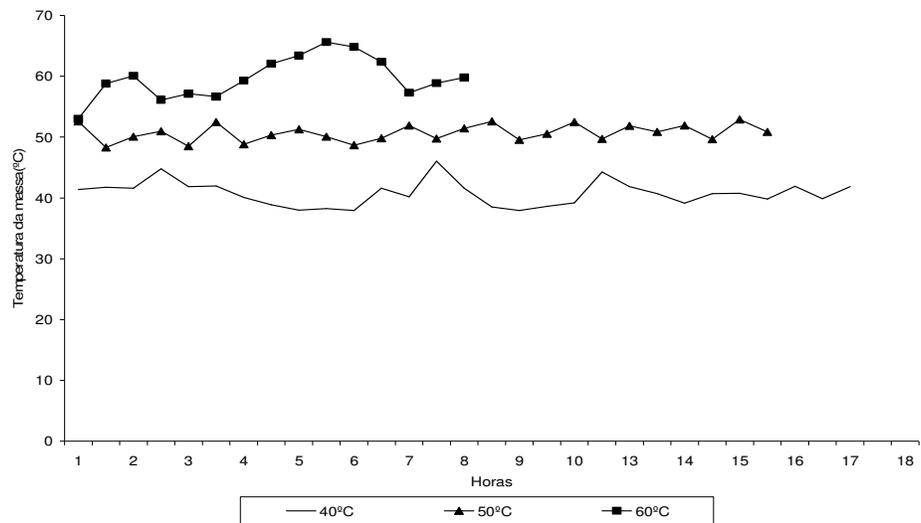


FIGURA 3 Variações médias das temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C da massa de café quando submetido ao fluxo de $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e à pré-secagem por 1 e 3 dias em terreiro, respectivamente.

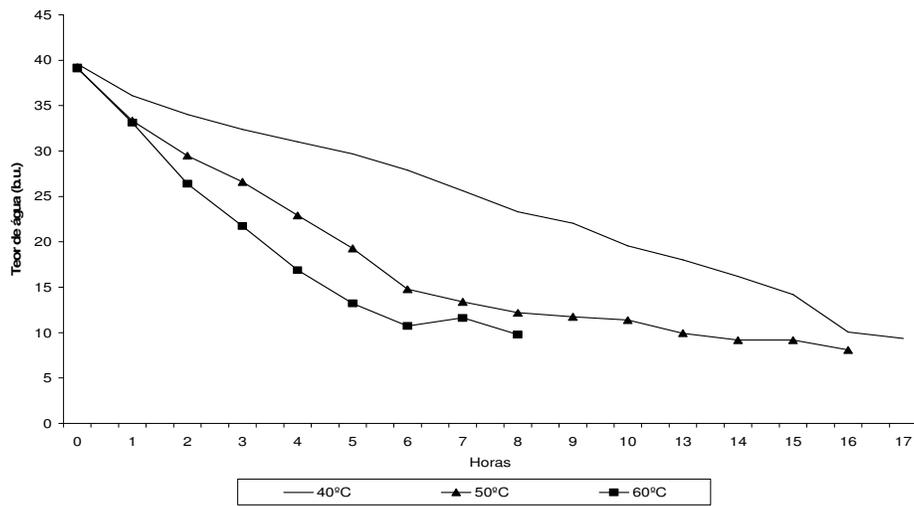
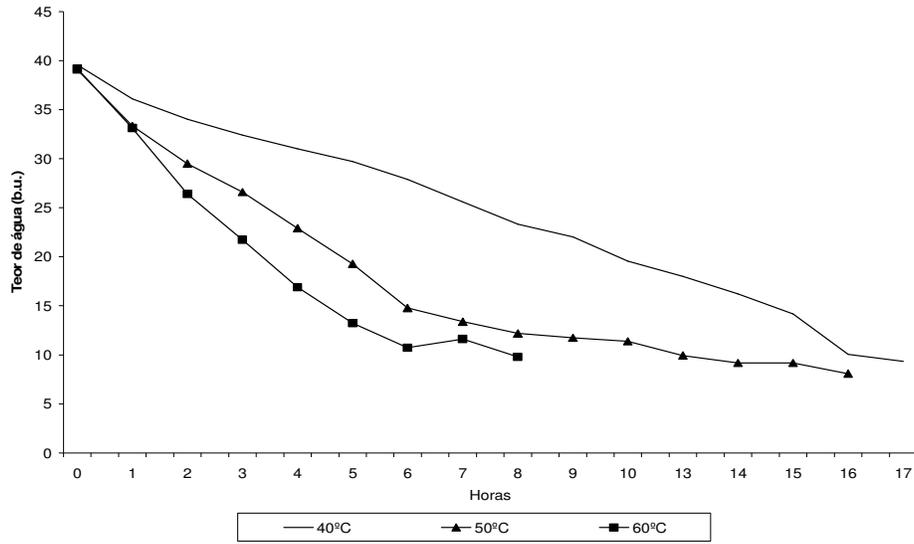


FIGURA 4 Variações médias do teor de água das temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C da massa de café, quando submetido ao fluxo de $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e à pré-secagem por 1 e 3 dias de terreiro, respectivamente.

Observam-se nas Figuras 3 e 4, as médias das quatro repetições das temperaturas da massa do café e as variações do teor de água para cada temperatura. Independente do período de pré-secagem, a temperatura de 40°C da massa do café variou entre 37,22°C a 44,28°C; para a temperatura de 50°C, ficou em torno de 46,7°C a 53,83°C e, para temperatura de 60°C, variou entre 52,96°C a 65,62°C. Entretanto, essas variações não afetaram os tratamentos. O tempo de secagem foi afetado pela temperatura e período de pré-secagem, tendo sido menor para a temperatura de 60°C e três dias de pré-secagem, e maior para a temperatura de 40°C e um dia de pré-secagem.

As taxas médias de redução de água durante o processo de secagem para as temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C e períodos de pré-secagem nas quatro repetições são apresentadas na Figura 5.

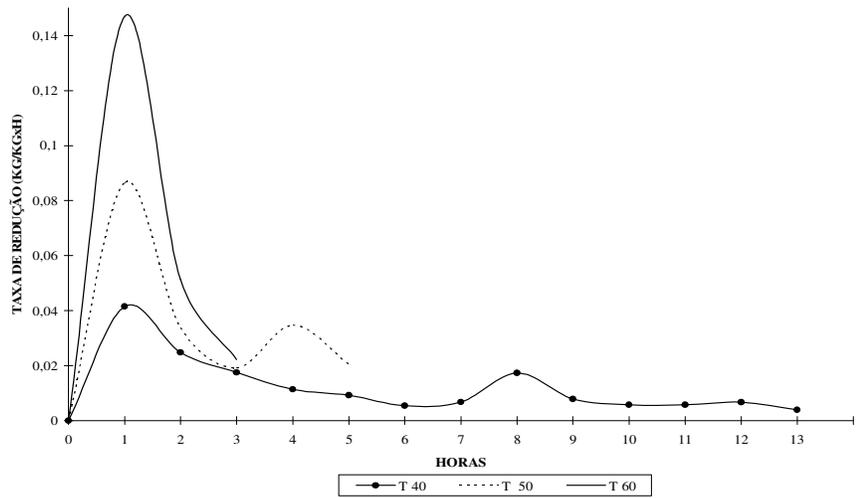
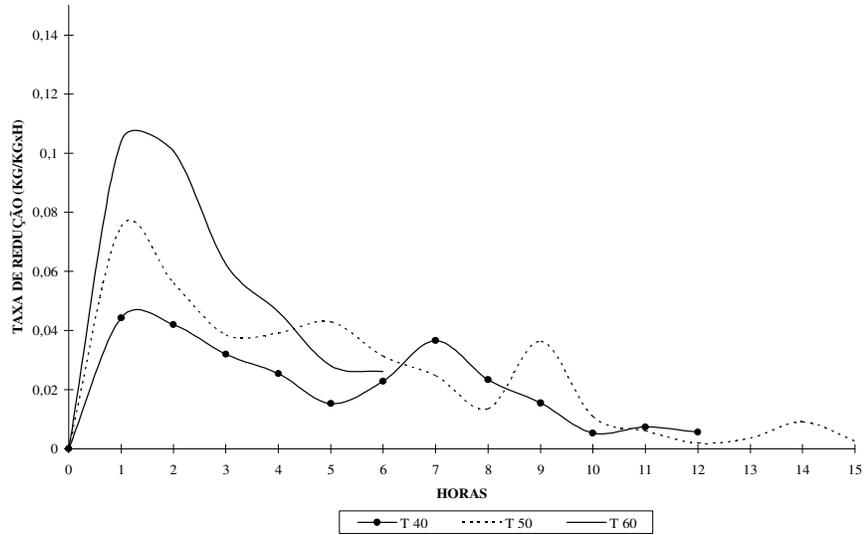


FIGURA 5 Taxa média de redução de água do café cereja descascado, para as temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C, e fluxo de ar de $20 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para 1 e 3 dias de pré-secagem, respectivamente.

Observa-se que as maiores taxas de redução de água, para todas as temperaturas, ocorreram no início da secagem. Independente do período de pré-secagem, a taxa de redução de água para a temperatura de 40°C variou entre 0,0931 a 0,0036 kg kg⁻¹ h⁻¹ e para a temperatura de 50°C, ficou em torno de 0,0942 a 0,0025 kg kg⁻¹ h⁻¹. Os maiores valores foram observados para a temperatura de 60°C, que variou entre 0,1470 a 0,0085 kg kg⁻¹ h⁻¹.

À temperatura de 40°C, a taxa de redução de água foi menor, com uma redução do tempo de secagem para três dias de pré-secagem. Entretanto para a temperatura de 60°C, foram observadas as maiores taxas de redução de água. Portanto, para as demais combinações, a maior quantidade de água inicial no café com um dia de pré-secagem no terreiro resultou em maiores taxas de redução de água.

Ribeiro et al. (2003) avaliaram a qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas (40°C, 45°C e 50°C), fluxo de ar (20 e 30 m³ min⁻¹ m⁻²) e período de pré-secagem (1 e 3 dias), e observaram resultados semelhantes a estes.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na secagem permitiram concluir que:

- o tempo de secagem foi menor para a temperatura de 60°C e três dias de pré-secagem, e maior para a temperatura de 40°C e um dia de pré-secagem.
- a taxa de redução de água foi maior para a temperatura de 60°C e um dia de pré-secagem e menor para a temperatura de 40°C e três dias de pré-secagem.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; SILVA, F. S. da
Contribuição das etapas do pré-processamento para a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 29, n. 8, p. 6-53, 2004. Edição Especial.

BRANDO, C. H. J. Cereja descascado, desmucilado, fermentado, despulpado ou lavado In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Anais...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1999. p. 342-346.

BORÉM, F. M. **Pós-Colheita do Café**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p.

CARVALHO, N. M. de. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165 p.

RIBEIRO, D. M.; BORÉM, F. M.; ANDRADE, E. T. de.; ROSA, S. D. V. F. da. Taxa de redução de água do café cereja descascado em função da temperatura da massa, fluxo de ar e período de pré-secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 28, n. 7, p. 94-107, 2003. Especial.

SILVA, J. de. S. **Secagem e armazenagem do café**. Viçosa, MG: UFV Jard Editora, 2000. 162 p.

WEBER, E. A. **Armazenagem agrícola**. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1995. 400 p.

CAPÍTULO 3

ANÁLISES QUÍMICAS E SENSORIAIS PARA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ

1 RESUMO

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. Análises químicas e sensoriais para determinação da qualidade do café. **In: Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água.** Cap.3, p. 44-64. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem em terreiro, na composição química e qualidade da bebida do café cereja descascado. Foram usadas temperaturas na massa de 40°C, 50°C e 60°C, com fluxo de ar de 20m³ m⁻¹ m². Após a secagem, foram retirados os defeitos visíveis das amostras de café. Para a avaliação da qualidade, foram realizadas as seguintes análises: condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez graxa, açúcares totais, redutores e não redutores e análise sensorial. Verificou-se que a condutividade elétrica, a lixiviação de potássio e a acidez graxa aumentaram significativamente com a elevação da temperatura e a lixiviação de potássio reduziu com o aumento do período de pré-secagem. Os açúcares não redutores diminuíram com o aumento da temperatura e, com o aumento da pré-secagem, elevaram-se os valores de açúcares redutores. Menores temperaturas de secagem e maiores períodos de pré-secagem contribuíram para a obtenção de uma bebida de melhor qualidade.

*Comitê orientador: Prof. Dr.Flávio Meira Borém-DEG-UFLA (Orientador)

Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira-DCA-UFLA e
Prof. Dr.Eduardo Alves-DFP-UFLA.

2 ABSTRACT

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. Chemical and sensorial analyses for determination of the quality of coffee. In: **Chemical, sensorial and microscopic alterations of the peeled coffee cherry as related with the rate of water removal**. Chap.3, p.44-64 Dissertation (Master in Food Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

This work was intended to evaluate the effect of different temperatures and pre-drying periods on yield on the chemical composition and quality of the beverage of the peeled cherry coffee. Temperatures of 40°C, 50°C and 60°C were used in the mass with air flow of 20m³m⁻¹m². After drying, the visible defects of the coffee samples were removed. For evaluation of the quality, the following analyses were performed: electrical conductivity, potassium leaching, fatty acidity, total sugars, reducing and non- reducing sugars and sensorial analyses. It was verified that electrical conductivity, potassium leaching and fatty acidity increased significantly with the rise of temperature and the potassium leaching reduced with increasing pre-drying period. Non- reducing sugars diminished with the increase of temperature and with the increase of the pre-drying; there was an increase in the values of reducing sugars. The three-day pre-drying period made it possible the obtaining of a beverage of superior quality in relation to the one-day pre-drying.

*Guidance Committee: Prof.Dr. Flávio Meira Borém – DEG-UFLA (Adviser); Profa. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira-DCA-UFLA and Prof. Dr. Eduardo Alves-DFP-UFLA.

3 INTRODUÇÃO

Para que o café seja considerado de qualidade, as propriedades químicas, físicas e sensoriais devem estar de acordo com os padrões estabelecidos (Clifford, 1985; Mendonça, 2004; Sivetz, 1979). A qualidade do café como bebida é determinada pelo sabor e aroma, que estão associados às substâncias químicas existentes no grão e que são influenciados pela temperatura e taxa de secagem. Os estudos desenvolvidos nesse sentido abrangem componentes como açúcares, proteínas, compostos fenólicos, enzimas, lipídeos, bem como umidade, condutividade elétrica dos grãos e lixiviação de potássio, entre outros (Bártholo et al., 1989; Carvalho, 1956; Pereira, 1997).

Na literatura, encontram-se trabalhos que relatam danos causados pela secagem em grãos de café, os quais comprometem a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Acredita-se que isso seja devido à desorganização e à desestruturação das membranas celulares, permitindo que os componentes químicos, antes compartimentalizados, entrem em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas, afetando as características de cor, sabor e aroma da bebida. Conhecer estas alterações provocadas pela secagem torna-se importante na tentativa de minimizar os seus efeitos (Amorim et al., 1977; Prete, 1992; Ribeiro, 2003).

Na literatura, verifica-se que, para sementes, um dos mecanismos de defesa para estas mudanças é o acúmulo de alguns açúcares que ocorre dependendo da velocidade com que a água é retirada (Corbineau et al., 2000; Koster & Lepold, 1988; Leprince et al., 1993).

Vários trabalhos evidenciaram a existência da relação entre a desorganização das membranas celulares e a perda de constituintes dos grãos,

com o aumento da quantidade de exsudados determinados na água de embebição (Lin, 1988; Marcos Filho et al., 1990; Prete, 1992; Schoettle & Leopold, 1984).

Prete (1992) verificou uma relação inversa entre a qualidade da bebida e a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio, determinados no exsudato de grãos crus.

Sob condições adversas de manejo pós-colheita, uma das primeiras reações que ocorrem é a formação de ácidos graxos livres. Durante o armazenamento, a hidrólise do material graxo inicia-se antes da hidrólise de carboidratos ou proteínas (Biaggioni et al., 1998). Pesquisas utilizando o teste de acidez graxa em grãos de café ainda não foram realizadas.

Dessa forma, o presente trabalho objetivou caracterizar química e sensorialmente o café submetido a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem e detectar o potencial do teste de acidez graxa para determinar as alterações na qualidade do café.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Qualidade do Café da (EPAMIG), em Lavras, MG, no Pólo de Tecnologia em Qualidade do Café da Universidade Federal de Lavras.

Os defeitos visíveis das amostras de café foram retirados antes da realização das análises químicas e sensoriais, a fim de evitar que os grãos defeituosos interferissem nos resultados.

4.1 Condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica foi realizado de acordo com o sistema de copo ou massa, conforme metodologia recomendada por Krzyanowski et al. (1991), conforme proposto por Vieira (1994).

4.2 Lixiviação de potássio

A determinação da quantidade de potássio lixiviado foi realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002, após 5 horas de embebição dos grãos, em estufa a 25°C, segundo metodologia proposta por Prete (1992).

4.3 Acidez graxa

A acidez graxa foi determinada por titulação, de acordo com o método 02-02A (método rápido de acidez graxa para grãos), modificado como descrito na AACC (1995). A moagem das amostras foi realizada em moinho refrigerado

e na extração utilizou-se um agitador o que serviu como um misturador (tolueno + café moído) durante 90 minutos.

Para expressar o resultado em mL de KOH/100g de matéria seca, foram realizadas as correções de acordo com o teor de água e a massa da amostra moída. Para calcular o nível de ácidos graxos livres, utilizou-se a seguinte equação:

$$PS = (1 - Ubu) \times 40g$$

$$\text{Nível de AG} = \frac{V \times 100}{MS}$$

MS

Em que:

MS = massa da amostra seca (g)

Ubu = umidade base úmida (%)

40g de grão moído

V = volume gasto de KOH na titulação da mistura (extrato + indicador) em mL

AG = acidez graxa (mL de KOH/100g de matéria seca).

4.4 Açúcares totais, redutores e não-redutores

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

4.5 Classificação pela prova de xícara

A prova de xícara foi realizada no Pólo de Tecnologia em Qualidade do Café da Universidade Federal de Lavras, por provador credenciado do Ministério da Agricultura. Foram provadas três amostras de cada tratamento em cada repetição, totalizando 144 amostras (3 amostras X 12 tratamentos X 4 repetições no tempo), de acordo com a Instrução Normativa nº 08, de julho de 2003 (Brasil, 2003).

4.6 Procedimento estatístico

Foi utilizada uma análise de covariância em que adotou-se o modelo fatorial (2 X 3). A covariável utilizada foi a umidade final. Convém salientar que, preliminarmente à realização dessa análise, foi verificado se a umidade final interfere ou não nos tratamentos representados pela combinação dos níveis de temperatura (40°C, 50°C e 60°C) e período de secagem (1 e 3 dias). Considerou-se adequado o uso desta covariável caso a mesma não interferisse no efeito dos tratamentos avaliados pela significância do teste F.

A análise de variância realizada para a variável açúcar redutor foi feita considerando a transformação $\sqrt{x+0,5}$. A apresentação das médias foi feita na escala original dos dados. No entanto, a realização do teste de Tukey considerou o quadrado médio residual, dado pela análise de variância dos dados transformados. O software utilizado para a realização das análises foi o SAS versão 8e. As médias foram submetidas ao teste de Tukey, a 5% probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condutividade elétrica e lixiviação de potássio

Os dados obtidos para condutividade elétrica e lixiviação de potássio de grãos de café cereja descascado, submetidos a diferentes temperaturas de secagem encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 Valores médios de condutividade elétrica e lixiviação de potássio de grãos de café cereja descascado submetidos as diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura de secagem	Condutividade elétrica ($\mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$)	Lixiviação de potássio (ppm)
40°C	174,444 a	50,729 a
50°C	195,334b	67,429 b
60°C	231,657c	85,239 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observa-se uma relação entre as duas variáveis, tendo, na temperatura de 60°C, sido encontrados maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio e as maiores taxas de redução de água. O inverso foi observado na temperatura de 40°C, mostrando o efeito da temperatura de secagem na degradação de membranas.

Os dados sobre o efeito do período de pré-secagem para lixiviação de potássio do café cereja descascado encontram-se na Tabela 2, por meio dos quais observa-se que ocorreu uma redução significativa ($P < 0,05$) dos valores de lixiviação de potássio para o café submetido a três dias de pré-secagem.

TABELA 2 Valores médios de lixiviação de potássio do café cereja descascado, submetido a dois períodos de pré-secagem no terreiro.

Pré-secagem (dias)	Lixiviação de potássio (ppm)
1	71,093a
3	64,505b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ribeiro (2003), estudando a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio em grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas (40°C, 45°C e 50°C), fluxos de ar e períodos de pré-secagem, observou maiores valores de condutividade elétrica e de lixiviação de potássio para grãos secados à temperatura de 50°C. Oliveira (2002), estudando a condutividade elétrica e a lixiviação de potássio em grãos de café cereja submetidos a diferentes temperaturas de secagem (45°C, 50°C e 55°C), verificou maiores valores de condutividade elétrica e de lixiviação de potássio para grãos secados a temperatura de 55°C. Fato semelhante ocorreu no presente trabalho, no qual foram utilizadas

temperaturas 40°C, 50°C e 60°C e foram observados os maiores valores para estas variáveis nas temperaturas mais elevadas.

Os testes de lixiviação de potássio e o de condutividade elétrica são indicadores da integridade das membranas celulares. Portanto, maiores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio correspondem a maiores danos nestas membranas.

5.2 Acidez graxa

O desdobramento do efeito dos períodos de pré-secagem para cada temperatura encontra-se na Tabela 3.

Observa-se que houve um maior acréscimo do teor de acidez graxa com o aumento da temperatura, entretanto, não houve diferenças significativas em relação a períodos de pré-secagem. Estes resultados estão relacionados à estabilização das membranas e à integridade das paredes celulares, indicando que uma maior degradação das membranas celulares dará origem à maior quantidade de ácidos graxos livres.

TABELA 3 Valores médios de acidez graxa (ml de KOH/100g MS) de grãos de café cereja descascado, submetidos a diferentes períodos de pré-secagem e temperaturas.

Temperatura (°C)	<u>Período de Pré Secagem (dias)</u>	
	1	3
40	2,42 aA	2,30Aa
50	2,68bA	2,73bA
60	2,98cA	3,04cA

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, 5% de probabilidade.

Soares (2003), estudando a acidez graxa em sementes de soja submetida a altas temperaturas de secagem, verificou maiores deteriorações pela ocorrência de maiores teores de acidez graxa, em sementes submetidas à secagem drástica.

5.3 Açúcares totais

A análise de variância dos valores de açúcares totais, em função da temperatura da massa (T) e períodos de pré-secagem (PS), encontra-se na Tabela 4.

TABELA 4 Análise de variância dos dados de açúcares totais de grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas de secagem da massa e períodos de pré-secagem.

Fonte de variação	GL	QM
Bloco	3	3.1713
Umidade final	1	0.2763
Temperatura (T)	2	1.8994 ns
Pré-secagem (PS)	1	0.3303 ns
T*PS	2	0.6668 ns
Erro	38	0.7430

CV(%)=7.81; ns não significativo a 5% de probabilidade.

Verifica-se, para os açúcares totais, que não houve diferenças significativas ($P < 0.05$) para os tratamentos estudados.

5.4 Açúcares redutores

Na Tabela 5 está apresentado o efeito do desdobramento da pré-secagem (PS).

TABELA 5 Valores médios de pré-secagem (PS), para açúcares redutores do café cereja descascado.

Pré- secagem (dias)	Açúcares redutores (%)
1	0,38 b
3	0,48 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verificam-se diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os períodos de pré-secagem. Observa-se que houve uma elevação nos teores de açúcares redutores com o aumento do período de pré-secagem, correspondendo aos menores valores de lixiviação de potássio.

5.5 Açúcares não-redutores

O desdobramento da temperatura (T) é apresentado na Tabela 6.

TABELA 6 Valores médios para açúcares não redutores do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura (°C)	Açúcares não redutores (%)
40	10,41 a
50	10,11 ab
60	9,64 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verificam-se diferenças significativas ($P < 0,05$) para diferentes temperaturas de secagem na massa, apresentando uma redução nos teores de açúcares não redutores, com o aumento da temperatura de 40°C para 60°C.

Estes resultados assemelham-se aos encontrados por Ribeiro (2003) que observou que os maiores valores de açúcares não redutores também corresponderam, nas amostras, às menores taxas de redução de água, correspondendo aos menores valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio, estes indicando maior integridade das membranas.

Dessa forma, parece que menores taxas de secagem possibilitam maior acúmulo de açúcares nos grãos, o que pode estar relacionado com o desenvolvimento de mecanismos de proteção às membranas celulares (Leprince et al., 1993).

5.6 Qualidade da bebida

Os resultados da prova de xícara das três amostras para cada repetição em função da temperatura e período de pré-secagem, encontra-se na Tabela 7.

TABELA 7 Classificação, pela prova de xícara, do café cereja descascado, submetido a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem.

Bloco	Temperatura (°C)	Período de pré-secagem (dias)	
		1	3
I	40	M	EM
	40	M	EM
	50	AM	EM
	50	D	EM
	60	D	EM
	60	D	AM
II	40	M	EM
	40	EM	EM
	50	D	M
	50	D	M
	60	AM	M
	60	AM	D
III	40	AM	M
	40	AM	EM
	50	D	AM
	50	AM	M
	60	AM	AM
	60	AM	AM
IV	40	AM	EM
	40	D	EM
	50	EM	D
	50	AM	M
	60	AM	AM
	60	AM	EM

EM= estritamente mole; M= mole; AM= apenas mole; D= dura.

Observa-se, de maneira geral, o efeito da temperatura de secagem e período de pré-secagem na classificação da bebida. Temperaturas de 40°C e três dias de pré-secagem contribuíram para a obtenção de uma bebida de qualidade relativamente superior à bebida do café com temperaturas de 60°C e um dia de pré-secagem. Sob as temperaturas de 40°C, ocorreram as menores taxas de redução de água, (capítulo 2) os menores valores de condutividade elétrica, lixiviação de potássio e acidez graxa e os maiores valores de açúcares não redutores. Para o período de três dias de pré-secagem, as menores taxas de redução de água, aos menores valores de lixiviação de potássio e maiores valores de açúcares redutores. A condutividade elétrica e a lixiviação de potássio são indicadoras da integridade de membranas celulares e a acidez graxa está relacionada à integridade das membranas celulares, podendo, os açúcares redutores, estar envolvidos no mecanismo de proteção as membranas celulares.

Ribeiro (2003), avaliando a qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem, observou que ela foi afetada positivamente pelo período de três dias de pré-secagem.

6 CONCLUSÕES

Os resultados experimentais obtidos no presente trabalho permitem concluir que:

- valores de condutividade elétrica e lixiviação de potássio aumentaram com a elevação da temperatura de secagem;
- com o aumento do período de pré-secagem, ocorreu um decréscimo nos valores de lixiviação de potássio;
- o teste de acidez graxa mostrou-se sensível à temperatura de secagem; havendo um aumento dos valores de acidez graxa, com a elevação da temperatura de secagem;
- o aumento do período de pré-secagem promoveu um aumento dos teores de açúcares redutores;
- o aumento da temperatura de secagem diminuiu os teores de açúcares não redutores;
- menor temperatura de secagem e maior período de pré-secagem contribuíram para a obtenção de uma bebida de melhor qualidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC Methods 02-02A: fat acidity – rapid method, for grain. In: **Approved methods of the American Association of the Cereal Chemists**. St. Paul, 1995. v. 1, paginação irregular

AMORIM H. V.; CRUZ, A. R.; DIAS, R. M.; GUTIERREZ, S. E.; TEIXEIRA, A. A.; MELLO, M.; OLIVEIRA, G. D. de Transformações químicas e estruturais durante a deterioração da qualidade de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1977. p. 15-18.

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

BÁRTHOLO, F. G.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R. de; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, jul. 1989.

BIAGGIONI, M. A. M.; FERREIRA, W. A. Variação na germinação e nível de ácidos graxos livres durante o armazenamento de milho colhido mecanicamente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1988, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. **Instrução normativa n. 8 de 11 de junho de 2003**.

CARVALHO, A. A secagem do café em terreiro. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 31, n. 353, p. 34-35, 1956.

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

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. 329-339, Sept. 2000.

KOSTER, K. L.; LEOPOLD, A. C. Sugars and desiccation tolerance in seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 3, p. 829-832, Nov. 1988.

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

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.

LIN, S. S. Efeito do período de armazenamento na lixiviação eletrolítica do solutos celulares e qualidade fisiológica da semente de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Viçosa, v. 10, n. 1/2, p. 59-67, 1988.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W. R. D. A.; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Estudo comparativo de métodos para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1805-1815, dez. 1990.

MENDONÇA, L. M. V. L. **Características químicas, físico-químicas e sensoriais de cultivares de Coffea arábica L.** 2004. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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.

OLIVEIRA, G. A. de. **Qualidade dos cafés cereja, bóia e mistura submetidos a diferentes períodos de amontoamento e tipos de secagem.** 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PEREIRA, R. G. F. A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) “estritamente mole”.** 1997.

96 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem.** 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCHOETTLE, A. W.; LEOPOLD, A. C. Solute leakage from artificially aged soybean seeds after imbibition. **Crop Science**, Madison, v. 24, p. 835-838, 1984.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. **Coffee technology**. Westport, 1979. p. 527-575.

SOARES, T. A. **Análise da acidez graxa como índice de qualidade em grãos de soja.** 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

STATISCAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **Language and procedures usage.** Version 6. 12. Cary, 1995. 373 p.

VIEIRA, G. **Secagem intermitente de café em secadores de fluxo cruzado e secador experimental de camada fixa.** 1994. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CAPÍTULO 4

ESTUDOS HISTOQUÍMICOS E ULTRAESTRUTURAIS DE GRÃOS DE CAFÉ SUBMETIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS E PERÍODOS DE PRÉ-SECAGEM

1 RESUMO

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. Estudos histoquímicos e ultra-estruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem. **In: Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água.** Cap.4, p.65-82. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Este estudo teve por objetivo avaliar e comparar as alterações na estrutura do endosperma de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem. Foram usadas temperaturas na massa de 40°C, 50°C e 60°C, com fluxo de ar de 20 m³ m⁻¹ m². Após a secagem, dez grãos foram aleatoriamente amostrados e preparados para os testes histoquímicos com Sudan IV e microscopia eletrônica de varredura e transmissão, de acordo com as técnicas de rotina do laboratório. A partir dos estudos histoquímicos foi possível observar, nos grãos secos a 40°C a manutenção da compartimentalização dos corpúsculos de óleo, apresentaram-se distribuídos uniformemente em todo perímetro interno da membrana plasmática. Em contraste, no endosperma dos grãos de café secos a 60°C, observou-se a fusão dos corpúsculos de óleo formando grandes gotas no espaço intercelular, indicando a ruptura da membrana plasmática e das vesículas de óleo. Nas micrografias obtidas com a microscopia eletrônica de varredura, foi possível observar, nos grãos secos a 40°C, que o conteúdo interno das células apresentou-se intacto e preenchido com o material celular e que o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular (lúmen) apresentou-se vazio. Entretanto, nos grãos submetidos à secagem a 60°C, observou-se o rompimento das estruturas celulares, representado pelo total preenchimento do lúmen celular, indicando o extravasamento de parte do protoplasma. Os resultados das análises com microscopia de transmissão corroboram todas as observações anteriormente descritas, tendo em vista ter sido possível observar a preservação da integridade das vesículas no interior das células do endosperma após a secagem a 40°C e a ruptura e coalescência das vesículas celulares após a secagem a 60°C.

*Comitê orientador: Prof. Dr.Flávio Meira Borém-DEG-UFLA (Orientador)

Prof.a. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira-DCA-UFLA e
Prof. Dr.Eduardo Alves-DFP-UFLA.

2 ABSTRACT

MARQUES, Elizabeth Rosemeire. Ultrastructural histochemical studies of coffee beans submitted to different drying temperatures. **In: Chemical, sensorial and microscopic alterations of the peeled coffee cherry as related with water removal rate.** Cap.4, p.65-82. Dissertation (Master in Food Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

This study was designed to evaluate and compare the alterations in the structure of the plasma membrane and cell wall of the endosperm of coffee beans submitted to different drying temperatures. Temperatures of 40°, 50° and 60°C with air flow of 20 m³ m⁻¹ m² were used in the mass. After drying, ten beans were sampled randomly and prepared for the histochemical tests with Sudan IV and scanning and transmission microscopy in accordance with the techniques of laboratory routine. From the histochemical studies, the maintenance of the compartmentalization of the oil corpuscles was possible to observe in the beans dried at 40°C, presenting themselves distributed uniformly in all internal perimeter of the plasma membrane. In contrast, in the endosperm of the coffee beans dried at 60°C, the fusion of the corpuscles forming great drops in the intercellular space was observed, indicating the rupture of the plasma membrane. In the micrographs obtained with scanning electron microscopy, it was possible to observe in beans dried at 40°C that the internal content of the cells presented intact and filled with the cell material and that the space between the plasma membrane and the cell wall (lumen) was empty. However, in the beans submitted to the drying at 60°C, the disruption of the cell structures was observed, represented by the total filling of the cell lumen indicating the extravasation of part of protoplasm. The results of the analyses with transmission microscopy corroborate all the previously reported comments, having in mind that it was possible to observe the preservation of the integrity of the vesicles in the inside of the endosperm cells at 40°C and the rupture and coalescence of the cell vesicles after drying at 60°C.

*Guidance Committee: Prof.Dr. Flávio Meira Borém – DEG-UFLA (Adviser);
Prof.a. Dra. Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira-DCA-UFLA and
Prof. Dr. Eduardo Alves-DFP-UFLA.

3 INTRODUÇÃO

O endosperma do café possui cerca de 53% de carboidratos; no entanto, na sua maioria são carboidratos insolúveis, fibras e hemicelulose. Além disso, possui cerca de 15% de óleos, 11% de proteínas insolúveis, cinzas e outros compostos (Sivetz, 1963). São vários os trabalhos envolvendo a composição química dos grãos, porém são poucas as pesquisas relacionadas a análises ultraestruturais desses grãos.

Há hipótese de Amorim (1978), de que a perda da permeabilidade e as alterações nas estruturas das membranas celulares seriam responsáveis pela deterioração do café. Salazar et al. (1994) observaram que o manejo inadequado dos frutos de café nas fases de pré e pós-colheita, como a utilização de temperatura e taxas de secagem mais elevadas, pode provocar uma degeneração das membranas celulares, com a perda do controle da permeabilidade levando à deterioração mais rápida, comprometendo a qualidade do produto.

Estudos têm revelado que, após a dessecação, a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria, portanto análises ultraestruturais nos tecidos do endosperma tornam-se de grande importância para comprovação desses estudos.

Brandão Junior (2000) estudando em embriões a sensibilidade à dessecação em sementes de café, observou que as sementes colhidas no estágio verde apresentaram maiores danos ultraestruturais como: coalescência de corpos de lipídios e provável ruptura do sistema de membrana em relação às sementes colhidas no estágio verde cana e cereja. A espécie *C. canephora* apresentou-se mais sensível à dessecação do que a espécie *C. arabica*. As células mostraram avançada deterioração nas estruturas das membranas, mesmo após terem atingido a maturidade. Entretanto, as sementes de *C. arabica*, adquiriram tolerância à dessecação com o processo de maturação.

Goulart (2002), em estudos histoquímicos e morfológicos dos grãos de café de diferentes bebidas, observou, no café bebida mole, uma maior concentração de lipídeos nos bordos externos dos grãos e estes se apresentaram como corpos lipídicos globulares bem definidos no interior dos protoplastos. Com a perda da qualidade da bebida, observou-se que os lipídeos se apresentaram homogeneamente distribuídos por toda a superfície do tecido nos grãos de café bebida dura e riada. Nestes tipos de cafés, verificou-se que os lipídeos não mais se apresentaram em corpos lipídicos bem definidos, como no café mole, mas sim extravasados no interior das células e nos espaços intercelulares. Entretanto, estudos que relatam análises ultraestruturais na estrutura da membrana do endosperma submetidos as diferentes temperaturas de secagem ainda não foram feitos.

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar, com análises histoquímicas e ultraestruturais o efeito de diferentes temperaturas de secagem nas estruturas das membranas celulares.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostragem

Foram utilizadas neste estudo amostras compostas por dez grãos secos de café descascado para cada temperatura de secagem na massa de 40°C, 50°C e 60°C, com fluxo de ar de 20 m³ min⁻¹m².

4.2 Análises histoquímicas e ultraestruturais

A preparação e observação das amostras em microscópico de luz foram realizadas no Laboratório de Citologia, localizado no Departamento de Biologia/UFLA. As amostras de grãos foram submersas em água destilada por 24 horas e mantidas, sob temperatura ambiente. As seções destinadas às reações histoquímicas, obtidas mediante corte com um micrótomo de mão e mantidas a fresco, foram tratadas durante três minutos com o reagente Sudan IV em solução etanólica a 80% para a visualização de lipídeos, segundo o protocolo proposto por Jensen (1962).

4.3 Preparação das amostras para MEV

A preparação e a observação das amostras em microscópico eletrônico de varredura foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), localizado no Departamento de Fitopatologia/UFLA. As amostras foram cortadas longitudinalmente e imersas em solução fixativa (Karnovisk modificado), pH 7,2 e armazenado em câmara fria, até a realização das análises. Em seguida, foram transferidos para líquido crioprotetor (glicerol 30%) por 30 minutos e cortados transversalmente em

nitrogênio líquido. As secções obtidas foram transferidas para uma solução de tetróxido de ósmio 1% em água por 1 hora e subsequentemente, desidratadas em série de acetona (25%, 50%, 75%, 90% e 100%, por três vezes) e depois levadas para o aparelho de ponto crítico. Os espécimes obtidos foram montados em suportes de alumínio “stubs”, utilizando fita de carbono colocada sobre uma película de papel alumínio, cobertos com ouro e observados em microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40 XVP. Foram geradas e registradas digitalmente, a aumentos variáveis, diversas imagens para cada amostra, nas condições de trabalho de 20 kv e distância de trabalho de 9 mm. As imagens geradas foram gravadas e abertas no Software Photopaint do pacote Corel Draw 9, onde foram selecionadas e preparadas as pranchas apresentadas neste trabalho.

4.4 Preparação das amostras para MET

A preparação e observação das amostras para MET foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), localizado no Departamento de Fitopatologia/UFLA. As amostras foram cortadas longitudinalmente e imersas em solução fixativa (Karnovisk modificado), pH 7,2 e armazenadas em câmara fria até a realização das análises. Em seguida, foram lavadas em tampão cacodilato (três vezes de 10 min), pós-fixadas em tetróxido de ósmio 1% em água por 1 hora, lavadas duas vezes por 15 minutos em água destilada, transferidas para solução a 0,5% de acetato de uranila durante 12 horas a 4°C, e em seguida, lavadas novamente em água destilada e desidratadas em gradiente de acetona (25%, 50%, 75%, 90% e 100% por três vezes). Em seguida, o material foi incluído em gradiente crescente de Spurr/acetona 30% por 8 horas, 70% por 12 horas e 100% duas vezes por 24

horas cada. Os espécimes foram montados em moldes e colocados para polimerizar em estufa a 70°C, por 48 horas.

4.5 Ultramicrotomia

Os blocos obtidos foram desbastados utilizando-se lâminas de barbear. Em seguida, secções semifinas (0,85 μm) e ultrafinas (<100nm) foram obtidas usando-se um ultramicrotomo Reichert-jung, com navalha de diamante. Os cortes semifinos foram coletados com anel de ouro, colocados em lâminas de vidro, corados com azul de toluidina (1g azul de toluidina, 1g borato de sódio e 100ml água), filtrados em filtro Millpore (0,2 μm) e montados permanentemente em meio Permalt. Os cortes ultrafinos foram coletados em grades de ouro (golden slot grids), secos em raques de alumínio cobertos com formvar. As secções foram pós contrastadas em acetato de uranila, seguido por acetato de chumbo por 3 minutos cada e, em seguida, examinadas em microscópio eletrônico de transmissão (MET), Mod. EM-109 da Zeiss.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do teste histoquímico das secções tratadas com reagente Sudan IV estão apresentados na Figura 1. Observa-se que, para os grãos de café secados à temperatura de 40°C (Figura 1A), ocorreu uma maior concentração de óleos no perímetro interno da membrana, que se mostram na forma globular. A preservação dos óleos nessa forma deve-se à integridade das membranas das glândulas de óleo. Para os grãos secados à temperatura de 50°C (Figura 1B), observaram-se algumas células com óleos nas extremidades do tecido endospermico e outras com extravasamento do conteúdo no espaço intercelular indicando o rompimento, tanto das glândulas de óleo como das membranas plasmáticas. Já nos grãos de café secados à temperatura de 60°C (Figura 1C), as glândulas de óleos se apresentaram rompidas e o conteúdo se apresentou homogeneamente distribuído por toda a superfície do tecido endospermico dos grãos de café. Verifica-se que os óleos não se apresentam bem definidos, como na temperatura de 40°C (Figura 1A), porém, extravasados no interior das células e formando grandes gotas nos espaços intercelulares, indicando a ruptura das membranas.

Estes resultados corroboram com a análise de acidez graxa vista no capítulo 3 que, com o aumento da temperatura de secagem, elevou valores de acidez graxa. Entretanto, não houve diferenças observadas no período de pré-secagem. Essas observações assemelham-se aos resultados obtidos por Goulart (2002), que observou no café bebida mole, lipídeos concentrados nas extremidades das membranas. Com a perda da qualidade da bebida, os lipídeos distribuíram-se por toda a superfície do tecido e nos espaços intercelulares.

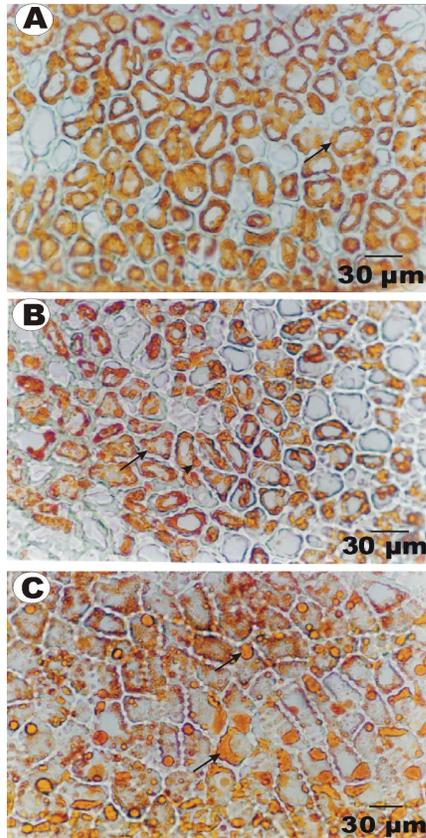


FIGURA 1 Fotomicrografia de grãos de café secados à temperatura de 40°C, (seta) óleos na forma globular, no perímetro interno da membrana (A), grãos de café secados à temperatura de 50°C, (seta) óleos na extremidade do tecido endospermico, (cabeça de seta) extravasamento do conteúdo no espaço intercelular (B), grãos de café secados à temperatura de 60°C (setas) óleos distribuído por toda superfície da célula, formando grandes gotas nos espaços intercelulares. (C).

Na Figura 2 são apresentados os resultados das análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), em que grãos de café secados à temperatura de 40°C (Figura2A) apresentaram o conteúdo interno das células intacto e preenchido com o material celular e que o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular (lúmen), bem como os espaços intercelulares apresentaram-se vazios. Os grãos secados à temperatura de 50°C (Figura2B), apresentaram algumas células com o conteúdo celular intacto e, em outras, houve rompimento da membrana celular com o espaço intercelular semipreenchido. No entanto, em grãos de café secados à temperatura de 60°C (Figura2C) houve o rompimento das membranas celulares, representado pelo total preenchimento do lúmen celular, tendo ocorrido o extravasamento de parte do protoplasma, preenchendo todo o espaço intercelular. Entretanto, não foram observadas diferenças no período de pré-secagem.

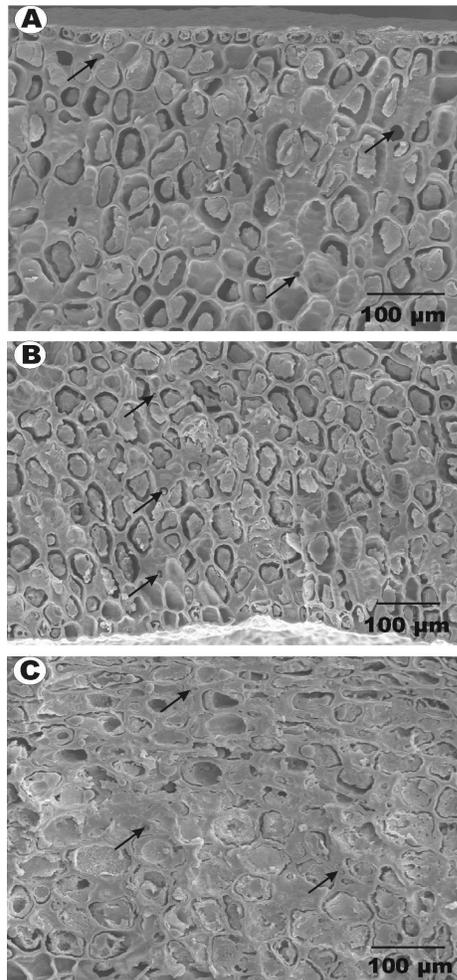


FIGURA 2 Eletromicrografia de varredura de grãos de café secados à temperatura de 40°C, (setas) espaços intercelulares vazios (A), de grãos de café secados à temperatura 50°C, (setas) espaços intercelulares semipreenchido (B), grãos de café secados à temperatura de 60°C, (setas) preenchendo todo o espaço celular (C).

Na Figura 3, encontram-se as análises de microscopia eletrônica de transmissão (MET), em grãos de café secados à temperatura de 40°C (Figura3A). No interior da célula do endosperma, as vesículas encontram-se íntegras, não tendo ocorrido rompimento dessas vesículas. Nos grãos secados à temperatura de 50°C (Figura3B), houve rompimento de algumas vesículas e outras permaneceram íntegras. No entanto, em grãos de café secados a 60°C (Figura3C), pôde-se observar que houve coalescências das vesículas e, com o rompimento, houve uma junção dessas vesículas.

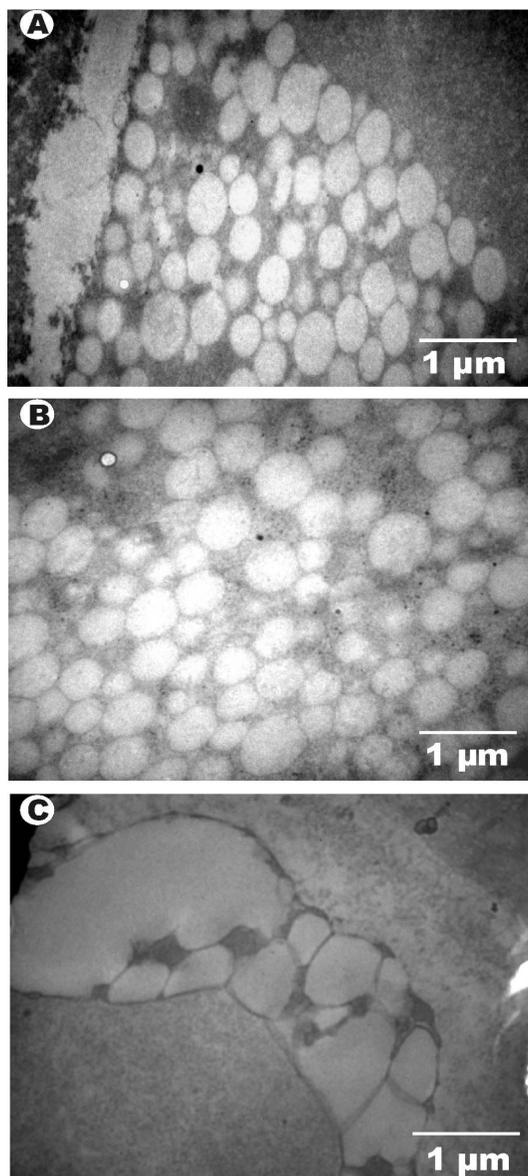


FIGURA 3 Eletromicrografia de transmissão de grãos de café secados à temperatura de 40°C (A), grãos de café secados à temperatura de 50°C (B), e grãos de café secados à temperatura de 60°C (C).

6 CONCLUSÕES

- Os estudos histoquímicos e ultra-estruturais de microscopias eletrônicas de varredura e transmissão mostraram que no café secado à temperatura de 40°C, obtiveram uma maior integridade das membranas e vesículas celulares, e as glândulas de óleos apresentaram-se em todo perímetro interno da membrana plasmática;
- Com o café secado à temperatura de 60°C, houve rompimento e coalescência das vesículas e rompimento das membranas com o extravasamento do conteúdo celular.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tempo de secagem foi menor com o café secado à temperatura de 60°C e período de três dias de pré-secagem, e a taxa de redução de água foi maior na temperatura de 60°C e período de um dia de pré-secagem. Nos cafés secados à temperatura de 60°C foram observados os maiores valores de condutividade elétrica, lixiviação de potássio e acidez graxa, tendo ocorrido rompimento das membranas e das glândulas de óleo com o extravasamento do conteúdo celular e rompimento e coalescência das vesículas. Foram encontrados menores valores de lixiviação de potássio e maiores valores de açúcares redutores para o café submetido a três dias de pré-secagem. Para o café secado à temperatura de 40°C, obteve-se maior acúmulo de açúcares não redutores, maior integridade das membranas e vesículas celulares, e as glândulas de óleos apresentaram-se em todo perímetro interno da membrana plasmática. A temperatura de secagem de 40°C e três dias de pré-secagem contribuíram para a obtenção de uma bebida de melhor qualidade.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRANDÃO JUNIOR, D. da S. **Marcadores da tolerância à dessecação de sementes de cafeeiro.** 2000. 144 p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GOULART, P. de. F. P. **Purificação da polifenol oxidase e avaliação de métodos bioquímicos para aferir a qualidade da bebida do café.** 2002. 80 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

JENSEN, W.A. Histochemical techniques. In: _____. **Botanical histochemistry.** San Francisco, USA: Freeman and Company, 1962. p. 206-256.

SALAZAR, G. M. R.; RIANO, H. N. M.; ARCILA, P. J.; PONCED, C. A. Studio morfológico, anatômico y ultraestrutural Del fruto de café Coffea arábica L. **Cenicafé**, Caldas, v. 45, n. 3, p. 93-105, jul./sept. 1994.

SIVETZ, M. **Coffee processing technology.** USA: The Avi, 1963. 598 p.

ANEXOS

	Páginas
TABELA 1A Análise de variância dos dados de condutividade elétrica de grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas de secagem da massa e períodos de pré-secagem.....	81
TABELA 2A Análise de variância dos dados de lixiviação de potássio de grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas de secagem da massa e períodos de pré-secagem.....	81
TABELA 3A Análise de variância dos dados de acidez graxa de grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas de secagem da massa e períodos de pré-secagem.....	82
TABELA 4A Análise de variância dos dados de Açúcares redutores de grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas de secagem da massa e períodos de pré-secagem.....	82
TABELA 5A Análise de variância dos dados de Açúcares não redutores de grãos de café cereja descascados submetidos a diferentes temperaturas de secagem da massa e períodos de pré-secagem.....	83

TABELA 1A

Fonte de variação	GL	QM
Bloco	3	4928.3881
Umidade final	1	15.5868
Temperatura (T)	2	11678.81716**
Pré-secagem (PS)	1	817.2846 NS
T*PS	2	366.8279NS
Erro	38	328.7126

CV(%)=9,04; ** Significativo a 5% de probabilidade; ns não significativo

TABELA 2A

Fonte de variação	GL	QM
Bloco	3	961.8981
Umidade final	1	1.2959
Temperatura (T)	2	4078.7913**
Pré-secagem (PS)	1	511.6033**
T*PS	2	146.7256NS
Erro	38	91.5336

CV(%)=14,11; ** Significativo a 5% de probabilidade; ns não significativo

TABELA 3A

Fonte de variação	GL	QM
Bloco	3	0.0992
Umidade final	1	0.6946
Temperatura (T)	2	1.1034 ns
Pré-secagem (PS)	1	0.0102ns
T*PS	2	0.1149**
Erro	38	0.0332

CV(%) =6,76; ** Significativo a 5% de probabilidade; ns não significativo

TABELA 4A

Fonte de variação	GL	QM
Bloco	3	0.0315
Umidade final	1	0.0117
Temperatura (T)	2	0.0022 ns
Pré-secagem (PS)	1	0.0375 *
T*PS	2	0.0023 ns
Erro	38	0.0051

CV(%)=7.46; * Significativo a 1% de probabilidade ns não significativo.

TABELA 5A

Fonte de variação	GL	QM
Bloco	3	3.3493
Umidade final	1	0.0356
Temperatura (T)	2	2.0587 **
Pré-secagem (PS)	1	0.0302 ns
T*PS	2	0.3756 ns
Erro	38	0.6155

CV(%)=7.46; ** Significativo a 5% de probabilidade ns não significativo.