

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DE GRÃOS DE CAFÉ SUBMETIDOS A DIFERENTES FORMAS DE PROCESSAMENTO E SECAGEM

Flávio Meira Borém¹, Pedro Damasceno de Oliveira², Eder Pedroza Isquierdo³,
Gerson da Silva Giomo⁴, Reni Saath⁵, Renan Alves Cardoso⁶

(Recebido: 24 de fevereiro de 2012; aceito: 17 de abril de 2012)

RESUMO: Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar alterações na estrutura de grãos de café processados e secados de diferentes formas. O experimento foi realizado com dois tipos de processamento: via seca e via úmida; e quatro métodos de secagem: secagem em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50/40°C, 60/40°C e 40/60°C, onde a temperatura foi alterada quando os grãos de café atingiram 30%±2% (b.u.), com complementação da secagem até atingir 11%±1% (b.u.). O sistema mecânico de secagem utilizado constituiu-se de três secadores de camada fixa, o qual permite o controle da temperatura e fluxo de secagem. Durante o experimento foram coletados dados para a avaliação da dinâmica de secagem. Após a aplicação dos tratamentos, os grãos de cafés foram submetidos a estudos em microscópio eletrônico de varredura (MEV). A observação dos grãos de café em MEV mostrou que a temperatura de secagem de 50/40°C dos cafés despulpados apresentou resultados semelhantes aos cafés secados em terreiro, com pequena contração das células, sem sinais evidentes de ruptura. Pôde-se observar também que a utilização da temperatura de secagem 40/60°C foi a que mais causou danos às estruturas das células, independentemente do tipo de processamento. Verificou-se que os cafés preparados por via seca apresentaram maior desestruturação dos componentes celulares do que os cafés despulpados, bem como maior tempo de exposição desses cafés ao processo de secagem.

Termos para indexação: Pós-colheita do café; análise ultraestrutural; curvas de secagem do café.

SCANNING ELECTRON MICROSCOPY OF COFFEE BEANS SUBJECTED TO DIFFERENT FORMS OF PROCESSING AND DRYING

ABSTRACT: The objective of the present work was to evaluate changes in the structure of coffee beans processed and dried in different ways. The experiment was conducted with two types of processing: dry and wet, and four drying methods: drying on ground and mechanical drying with air heated to 50/40 °C, 60/40 °C and 40/60 °C, where the temperature was changed when the coffee beans reached 30% ± 2% (db), with supplementation of dehydrated to 11% ± 1% (wb). The mechanical drying system used consisted of three fixed bed dryers, which allows control of temperature and flow rate of drying. During the experiment, data were collected to assess the dynamics of drying. After treatment application, the coffee beans were subjected to studies in a scanning electron microscope (SEM). The observation of the coffee beans by SEM showed that the drying temperature of 50/40 °C pulped coffees showed similar results to those dried in cafes, with a small contraction of the cells, without signs of rupture. It was observed that utilization of the drying temperature 40/60 °C was the most damage caused to the structures of cells, regardless of the type of processing. It was found that the coffee prepared by dry showed higher destruction of the cellular components of the coffee pulped and, a longer exposure of coffee to the drying process.

Index terms: Coffee post-harvest, ultrastructural analysis, coffee drying curves.

1 INTRODUÇÃO

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 (BORÉM, 2008). 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 (ALPIZAR; BERTRAND, 2004).

O processamento do café também interfere de forma significativa na sua qualidade. Existem dois métodos de processamento para o café: a via seca e a via úmida. No processamento via seca, os frutos são submetidos à secagem intactos, sem a remoção do exocarpo. No processamento via úmida, podem ser produzidos: os cafés cereja descascado, resultado da remoção mecânica da casca e, parcialmente, da mucilagem do fruto;

^{1,3,6}Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras-MG flavioborem@deg.ufla.br, eder.isquierdo@yahoo.com.br, renanalves@yahoo.com.br

²Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/ UNESP - Fazenda Lageado - Portaria I - Rua José Barbosa de Barros, nº 1780 - 18.610-307 - Botucatu-SP - damascenoeng@yahoo.com.br

^{4,5}Instituto Agrônomo de Campinas/IAC - Av. Barão de Itapura, 1481 -Cx. P. 28 - 13012-970 - Campinas - SP gsggiomo@yahoo.com.br, reniagricola@yahoo.com.br

os cafés cereja despulpados, originados de frutos descascados mecanicamente com a mucilagem remanescente removida por fermentação; e os cafés cereja desmucilados, resultado da remoção mecânica tanto da casca quanto da mucilagem (BORÉM, 2008).

A secagem do grão de café é uma das etapas de sua cadeia produtiva que se relaciona com sua qualidade. Os frutos de café quando colhidos apresentam alto teor de água, normalmente entre 55% (b.u.) e 65% (b.u.) (BORÉM et al., 2006). Para armazená-los com segurança, deve-se reduzir até 11 % (b.u.) eliminando-se, assim, o risco com as elevadas taxas de respiração e desenvolvimento de fungos e bactéria. Por isso, devem-se utilizar técnicas de secagem eficientes, para manter a qualidade do grão de café e a integridade das membranas celulares, que favorece a preservação do aroma e sabor (BORÉM, 2004).

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 (RIBEIRO et al., 2003). Tem-se verificado, em muitos trabalhos, que os cafés naturais são mais sensíveis à dessecação, quando comparados aos cafés em pergaminho (CORADI et al., 2008; TAVEIRA, 2009). Esse fato é de grande importância para o manejo desses cafés, pois novas técnicas de secagem mecânica, onde se utilizem diferentes temperaturas durante o processo de secagem, podem colaborar na manutenção da qualidade dos cafés. Coradi et al. (2008) relatam que os cafés despulpados, de uma forma geral, apresentaram uma maior qualidade sensorial, quando comparados aos cafés naturais, bem como uma menor intensidade de danos nas estruturas celulares.

Existem poucos trabalhos relacionados à integridade das estruturas dos grãos de café. Muitos pesquisadores relatam que altas temperaturas na massa de café reduzem sua qualidade. Trabalhos relatam danos causados pela secagem em grãos de café, comprometendo a obtenção de uma bebida de boa qualidade. Supõe-se que isso seja devido à desorganização e desestruturação das membranas celulares, que permitem o contato de componentes químicos com as enzimas hidrolíticas e oxidativas, as quais estão relacionadas aos processos fermentativos, comprometendo o sabor e aroma da bebida (SAATH et al., 2010). A definição das temperaturas e do momento em que ocorrem esses danos nos grãos de café é uma questão atual.

Trabalhos que visam entender esse fenômeno são de grande importância.

Em estudos ultraestruturais de tecidos, após dessecação, tem-se verificado que a membrana celular é um dos primeiros pontos de injúria (SAATH et al., 2010). Maior tolerância à dessecação das sementes de café é observada na secagem lenta devido ao tempo para indução e à operação dos mecanismos de proteção das membranas. Essas análises, bem como as das paredes celulares do endosperma, podem colaborar na compreensão dos processos de perda de qualidade durante a secagem (BORÉM et al., 2008; MARQUES et al., 2008). Esses mesmos autores verificaram que altas taxas de secagem são danosas às membranas dos grãos de café quando esses estão com teores de água acima de 30% (b.u.) para os cafés naturais e de 20% (b.u.) para os cafés despulpados, quando secados com temperatura de 60°C.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) vem-se aliando às pesquisas na busca da qualidade. Marques (2006) utilizou-se da técnica em análises ultraestruturais de grãos de café submetidos a diferentes temperaturas e períodos de pré-secagem. Pela técnica, pode-se comprovar que o ar de secagem à temperatura de 60°C influencia de maneira negativa a qualidade, pois provoca rupturas nas membranas celulares, consequentemente, o extravasamento de parte do protoplasma, substância viva da célula, no interior das células e nos espaços intercelulares. Porém, não se pôde avaliar a variação de temperaturas do ar de secagem, antes e após a meia-seca, sobre a qualidade desses cafés.

O estudo das ultraestruturas celulares dos grãos de café pode ajudar no entendimento dos processos de perda de qualidade durante o processamento e secagem. Neste contexto, objetivou-se, neste trabalho, analisar em café natural e despulpado, o efeito de diferentes métodos de secagem na manutenção da integridade da parede celular e da membrana plasmática, ao final do processo de secagem com temperaturas alternadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com café cereja (*Coffea arabica* L. cv. Rubi), colhido na Universidade Federal de Lavras, UFLA. Os frutos colhidos foram processados por via seca (natural) e via úmida (despulpado), separando-se somente os frutos cereja. Após o processamento, o café foi secado em quatro condições diferentes: secagem

em terreiro, e secagem mecânica com ar aquecido a 50/40°C, 60/40°C e 40/60°C, onde a temperatura foi alterada quando os grãos de café atingiram 30%±2% (b.u.), com complementação da secagem até atingir 11%±1% (b.u.). Terminada a secagem foram procedidas a análise ultraestrutural dos grãos de café no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras.

Para o processamento do café via seca, os frutos foram lavados e separados hidráulica e mecanicamente. Após esse procedimento, uma parcela do café natural foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à pré-secagem de dois dias em terreiro antes de ser transferida para o secador.

Para o processamento do café via úmida, os frutos maduros foram descascados mecanicamente. Após o descascamento, o café foi submetido à fermentação em água para a remoção da mucilagem, em condições ambiente, com temperatura média de 20°C, por 20h. Após esse período, os cafés em pergaminho foram lavados com água até a retirada completa da mucilagem. Quando a mucilagem foi totalmente removida, uma parcela do café em pergaminho foi levada para o terreiro para a secagem completa e a outra parcela submetida à pré-secagem de um dia em terreiro antes de ser transferida para o secador.

Para a secagem em terreiro após o processamento, o café permaneceu sob condições ambiente. Esses cafés foram esparramados em camadas finas grão-a-grão, e com o decorrer da secagem sua camada foi sendo dobrada, de acordo com a metodologia proposta por Borém (2008). A temperatura e o teor de água relativa do ambiente, durante o período de secagem, foram monitorados com termo-higrógrafo.

Após o período de pré-secagem, as parcelas foram conduzidas para três secadores de camada fixa, os quais permitem o controle do fluxo e da temperatura (T) do ar de secagem com precisão, através de um painel eletrônico. A camada de grãos atingiu a espessura de 20 cm. O fluxo do ar foi controlado a 20 m³.min.⁻¹.m⁻², correspondendo a uma velocidade de 0,33m.s⁻¹.

O momento de transição de uma temperatura para a outra, no caso dos tratamentos com ar aquecido a 50/40°C, 40/60°C e 60/40°C, foi determinado da seguinte forma: o controle do teor de água dos grãos durante a secagem foi feito a partir do teor de água inicial do café proveniente do terreiro, o qual tornou possível o monitoramento da variação de massa nas respectivas amostras. O teor

de água do café foi determinado pelo método padrão ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1999).

Para determinar o momento de transição da temperatura do ar, cada bandeja contendo a parcela experimental foi pesada a cada hora, e o teor de água foi determinado por diferença de massa aplicando-se as equações abaixo. Quando cada gaveta atingiu a massa relativa ao teor de água de 30% ± 2% (b.u.) a temperatura foi mudada, permanecendo assim até o café atingir 11% (b.u.). em que: Mf: massa final (kg); Mi: massa inicial

$$Mf = Mi - \left(\frac{MixPQ}{100} \right) \quad PQ = \left[\frac{(Ui - Uf)}{(100 - Uf)} \right]$$

(kg); PQ: porcentagem de quebra (%); Ui: teor de água inicial (% b.u.); Uf: teor de água final (% b.u.).

Após a secagem e resfriamento, o café em pergaminho e natural permaneceu armazenado em sacos de polietileno, em ambiente com temperatura de 18°C.

A preparação e a observação das amostras em microscópio 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 (Karnovsky modificado), pH 7,2 e armazenadas em câmara fria, até a realização das análises. Em seguida, foram transferidos para líquido crioprotetor (glicerol 30%) por 30 minutos e cortadas 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 MEV 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, onde foram selecionadas e preparadas as pranchas apresentadas neste trabalho.

A partir das imagens geradas pôde-se observar a contração das células dos grãos de café, o preenchimento dos espaços intercelulares,

o extravasamento do lúmen celular, a formação de pontos em forma de gotas, para caracterizar o efeito do processamento e secagem utilizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A temperatura ambiente máxima, mínima, média, e a precipitação e umidade relativa, durante o período de secagem, que se estendeu do dia 16 a 27 de julho de 2009, são apresentadas na Tabela 1.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de teor de água no início e no final da secagem mecânica, bem como a umidade relativa de secagem antes de 30% (b.u.) e após 30% (b.u.) e o tempo total de secagem, para cafés processados por via seca e por via úmida.

A remoção do exocarpo e do mesocarpo no processamento úmido do café contribui na redução do tempo de secagem desses cafés. Observa-se, na Tabela 2, que, mesmo tomando-se o cuidado em deixar o café natural por maior período de pré-secagem no terreiro, os teores de água iniciais dos cafés naturais foram superiores quando comparados aos cafés despulpados. Entretanto, essa diferença seria muito superior caso a secagem com ar aquecido do café natural se iniciasse logo após sua colheita (BORÉM, 2008; SAATH et al., 2010).

Segundo Borém et al. (2006) e Ribeiro et al. (2003), o tempo de exposição, a temperatura

e fluxo do ar de secagem, o teor de água inicial e final do produto, a temperatura do ar ambiente, além da umidade relativa são fatores que afetam a dinâmica de secagem, e têm efeito significativo sobre a qualidade dos produtos agrícolas. Nota-se, na Tabela 2, que o tratamento de secagem 40/60°C teve um menor tempo total, quando comparado com os outros tratamentos de secagem mecânica. Esse fato decorre da maior facilidade de remoção da água livre quando os frutos estão com teores de água mais elevados (BORÉM, 2008). Pode-se observar também que, os maiores tempos totais de secagem dos grãos de café ocorreram no tratamento em terreiro, devido ao menor tempo de exposição desses cafés a altas temperaturas e maior umidade relativa do ar ambiente, a que esses cafés foram submetidos (Tabela 1).

Observa-se, na Tabela 2, que independentemente do tratamento de secagem utilizado, os maiores tempos de secagem foram encontrados nos cafés naturais, fato que pode ser explicado pela manutenção do exocarpo e mesocarpo nesses cafés (MARQUES, 2006).

Na Figura 1 podem-se observar as curvas de secagem dos cafés despulpados e naturais, dadas pela variação do teor de água para cada tratamento de secagem, em função do tempo.

TABELA 1 – Médias das temperaturas ambiente máxima, mínima e média, precipitação e umidade relativa Lavras – 2009.

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)
27,10	14,05	19,41	0,006	69,65

TABELA 2 – Valores médios do teor de água, umidade do ar de secagem e tempo total de secagem, para cada tratamento de secagem e processamento – Lavras – 2009.

Tratamento de secagem	Processamento	Teor de água (% b.u.)		Umidade do ar de secagem (%)		Tempo secagem (h)	
		Início	Final	Antes 30% (b.u.)	Após 30% (b.u.)	Antes 30% (b.u.)	Total
50/40°C	Despulpado	43,57	11,27	12,72	21,27	3,5	26
50/40°C	Natural	46,12	11,31	12,72	21,27	6	61
60/40°C	Despulpado	43,52	10,80	7,88	21,27	3	19
60/40°C	Natural	46,61	11,22	7,88	21,27	5	58
40/60°C	Despulpado	42,57	10,49	21,27	7,88	6	13
40/60°C	Natural	44,24	11,35	21,27	7,88	12	38
Terreiro	Despulpado	42,95	11,02	-	-	-	156
Terreiro	Natural	46,13	11,21	-	-	-	264

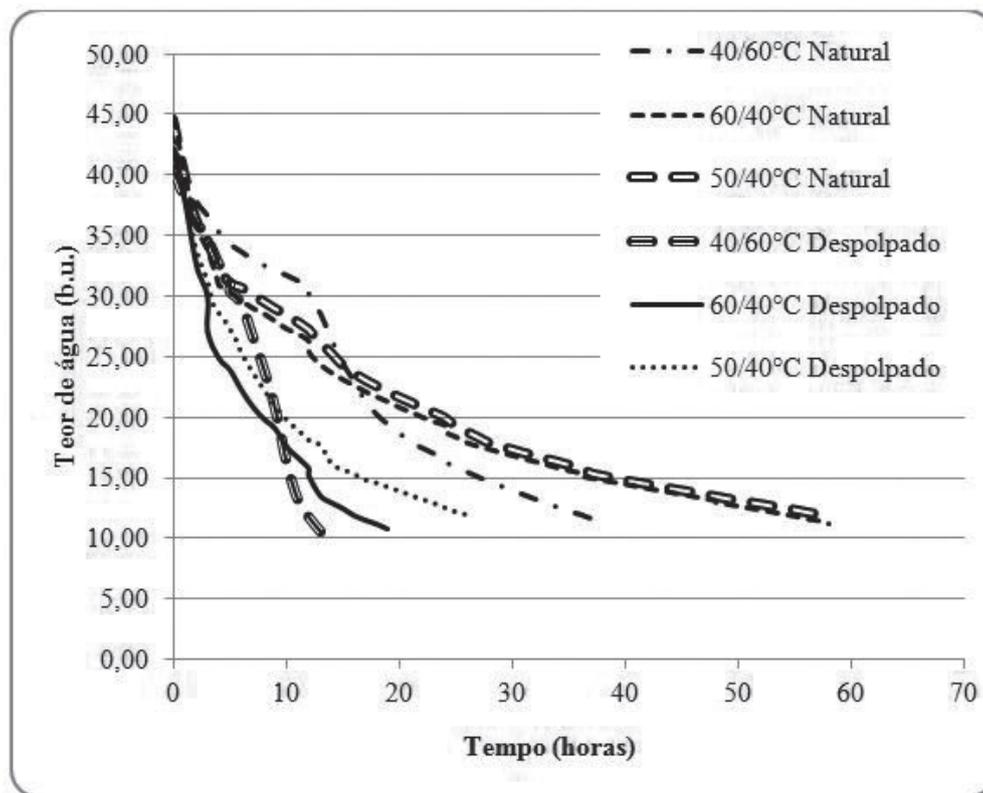


FIGURA 1 – Variação do teor de água de cada tratamento de secagem mecânica e processamento, em função do tempo.

Analisando-se a secagem mecânica dos cafês pelas curvas de secagem (Figura 1), observa-se que os teores de água, durante o tempo de secagem para o café natural, foram sempre superiores em relação ao café despolpado. O tempo total de secagem do café despolpado foi menor que do café natural, para qualquer tratamento de secagem. As diferenças observadas justificam-se pelo processamento empregado. No café despolpado, retira-se o exocarpo e o mesocarpo, ficando o endocarpo, o perisperma e endosperma. Com a remoção desses componentes, elimina-se toda a água contida nos revestimentos externos do fruto, sem os quais o café despolpado inicia a secagem com um teor de água menor em relação ao natural (Tabela 2).

Observa-se, na Figura 1, que nos tratamentos de secagem 50/40°C e 60/40°C, para os cafês naturais, houve similaridade em suas curvas de secagem, diferenciando apenas no tempo total de secagem, que foi de 58 horas para o tratamento 60/40°C e de 61 horas para o tratamento 50/40°C.

O tratamento de 40/60°C foi o que apresentou menor tempo de secagem, independente do tipo de processamento, sendo necessárias 38 horas

para os grãos de café natural atingirem 11% (b.u.) e 13 horas para os grãos de café despolpados. Apesar de no início do processo de secagem, nesse tratamento, a taxa de redução de água ter sido menor, como pode-se verificar pela menor inclinação de sua curva de secagem, após esses cafês terem atingido a meia-seca, onde ocorreu a mudança da temperatura de secagem de 40°C para 60°C, a sua taxa de secagem ultrapassou as dos tratamentos 50/40°C e 60/40°C, finalizando a secagem com tempo inferior a desses tratamentos.

As altas temperaturas de secagem e as elevadas taxas de redução de água degradam a estrutura do café e as membranas celulares, provocando extravasamento e oxidações nos óleos, elevando os níveis de ácidos graxos com o aumento da temperatura de secagem (MARQUES, 2006).

Como observado por outros autores (CORADI et al., 2008; MARQUES, 2006; REINATO et al., 2007), as altas temperaturas de secagem têm interferência na integridade das membranas celulares. Coradi et al. (2008), em seus estudos, observaram que a qualidade final dos cafês foi afetada em função da temperatura

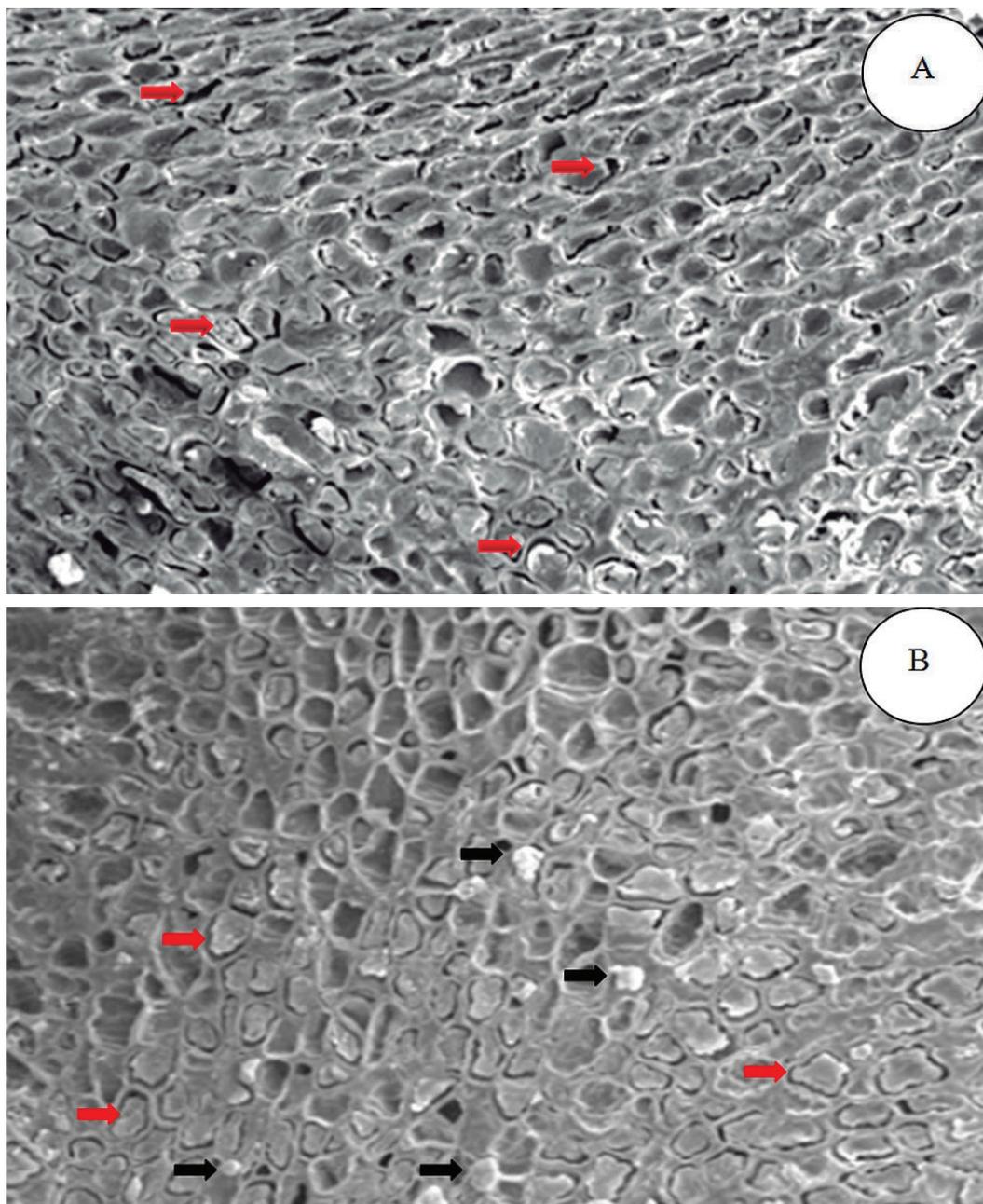
de secagem e do tipo de processamento; o aumento da temperatura de secagem influenciou negativamente o café natural, e no despulpado teve pouca influência.

Os resultados das alterações nas estruturas das membranas celulares do endosperma dos cafés natural e despulpado, provocadas pelos efeitos de secagem, são observados nas imagens apresentadas nas Figuras 2, 3, 4 e 5, as quais foram

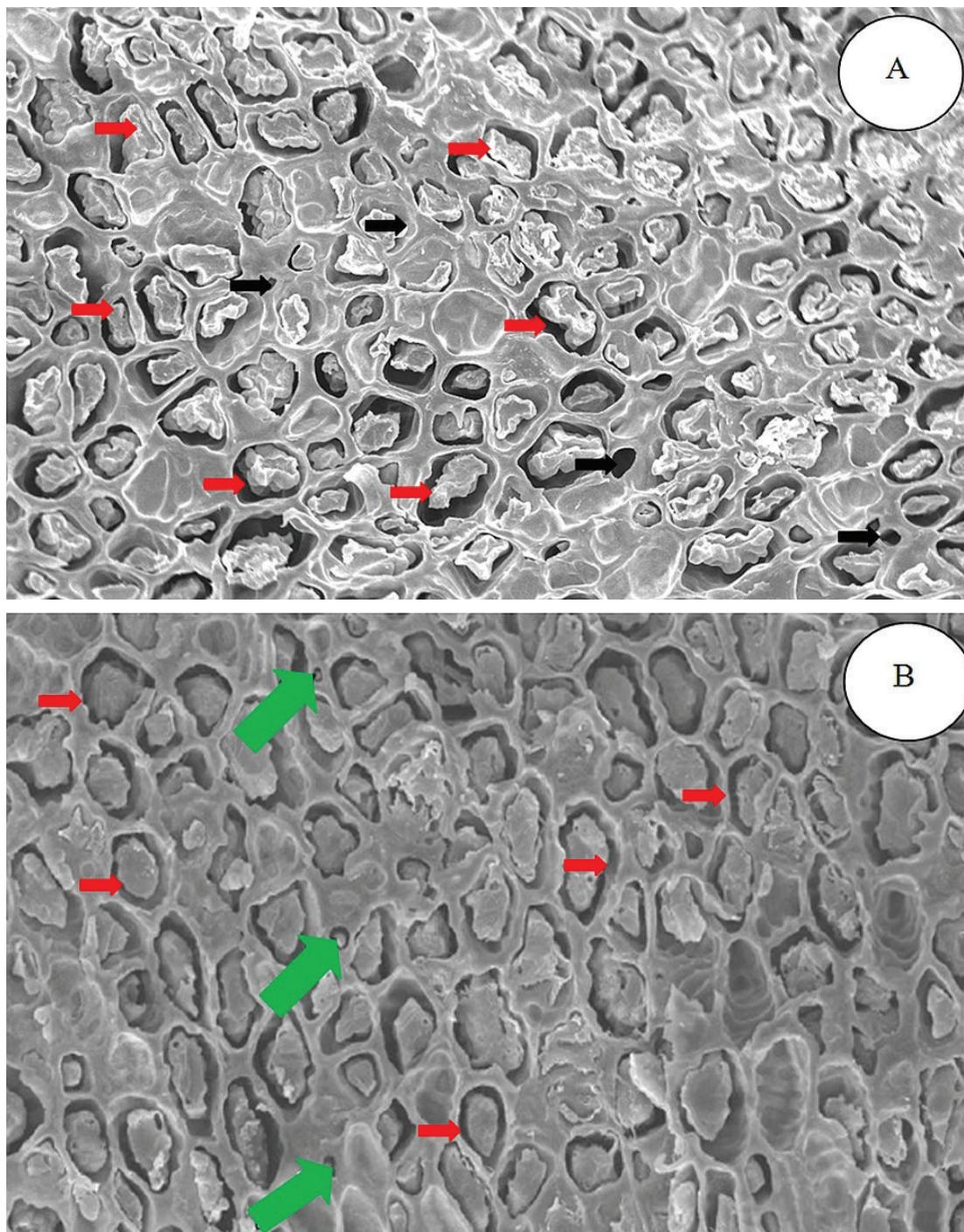
selecionadas em uma série de cinco imagens para cada repetição.

Nas Figuras 2A e 2B são apresentados os resultados das análises em MEV para os cafés despulpados e naturais, secados em terreiro.

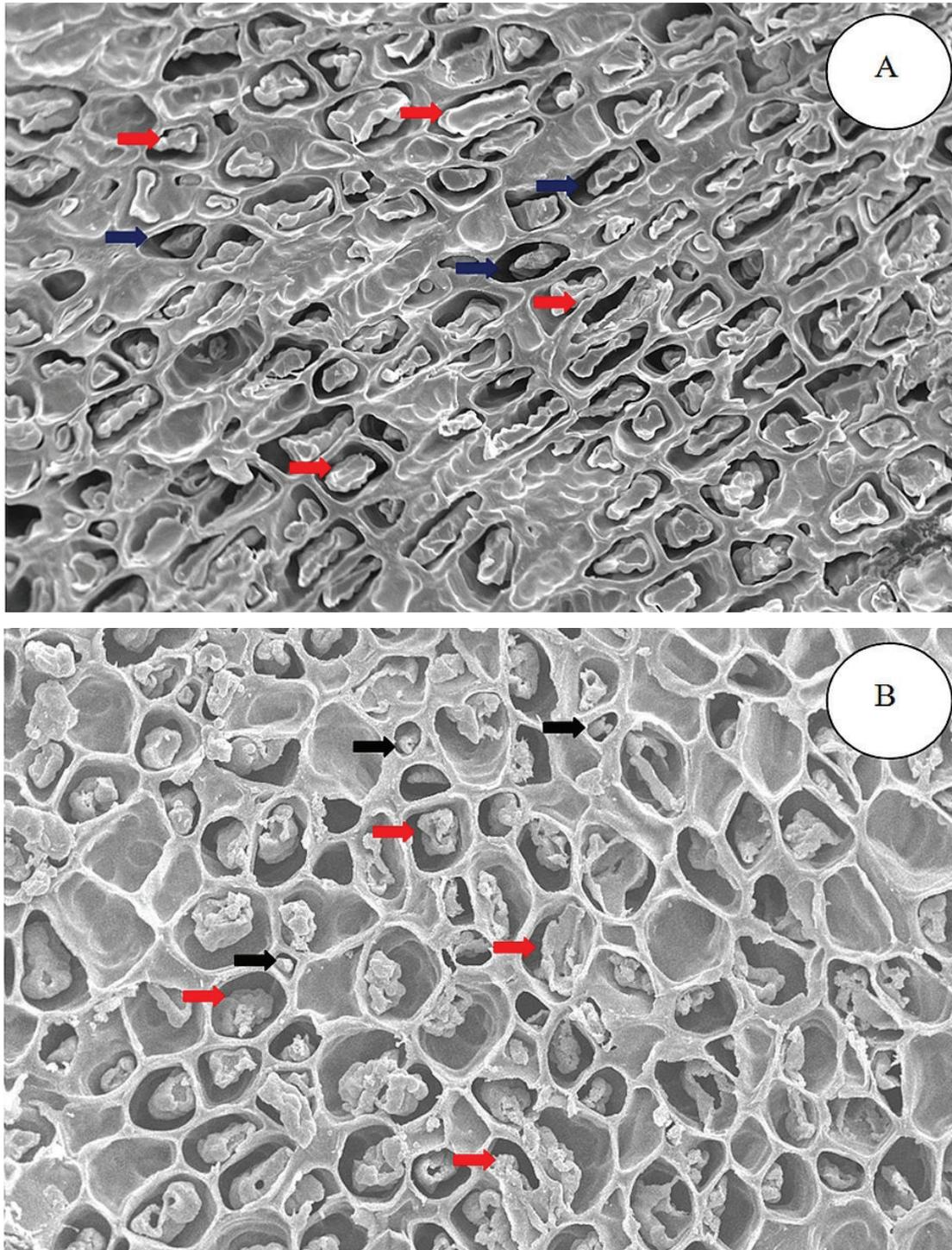
Nas Figuras 3A e 3B são apresentados os resultados das análises em MEV para os cafés despulpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 50/40°C.



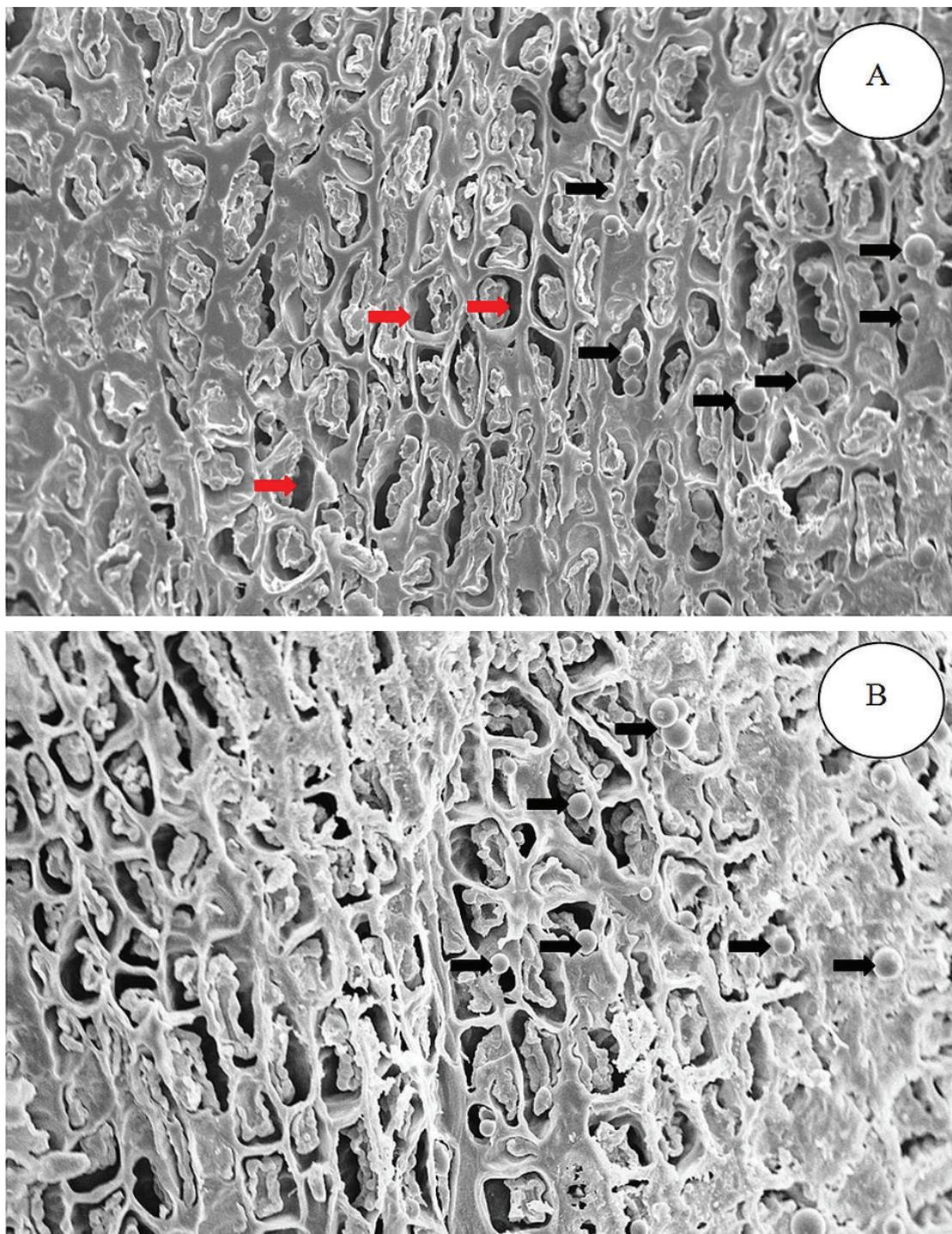
FIGURAS 2A e 2B – Eletromicrografias de varredura de grãos de café despulpados e naturais, respectivamente, secados completamente em terreiro até atingir 11% (b.u.). (Setas em vermelho indicam células contraídas; setas em preto indicam pontos em forma de gotas).



FIGURAS 3A e 3B – Eletromicrografias de varredura de grãos de café despulpados e naturais, respectivamente, secados em secadores com temperaturas de 50/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em vermelho indicam células contraídas; setas em preto indicam espaços intercelulares vazios; setas em verde indicam espaços intercelulares preenchidos).



FIGURAS 4A e 4B – Eletromicrografias de varredura de grãos de café despulpados e naturais, respectivamente, secados em secadores com temperaturas de 60/40°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em vermelho indicam células contraídas; Setas em preto indicam espaços intercelulares preenchidos; setas em azul indicam o lúmen celular).



FIGURAS 5A e 5B – Eletromicrografias de varredura de grãos de café despulpados e naturais, respectivamente, secados em secadores com temperaturas de 40/60°C até atingir 11% (b.u.). (Setas em preto indicam gotas de óleo; setas em vermelho indicam o lúmen celular).

O resultado da análise ultraestrutural do endosperma dos cafés despulpado (Figura 2A) e natural (Figura 2B) ao final da secagem em terreiro foi semelhante aos cafés durante a secagem mecânica, à temperatura de 50/40°C (Figuras 3A e 3B). Observou-se, para os cafés despulpados secados em terreiro, que a contração segue as mesmas formas da secagem mecânica a 50/40°C. Nos dois métodos de secagem, o conteúdo interno das células apresentou-se contraído, mas sem sinais evidentes de extravasamentos celulares e rupturas, e que o espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, o lúmen, assim como os espaços intercelulares apresentaram-se vazios. Nos cafés naturais, secados em terreiro, houve maior contração em relação aos cafés despulpados, também secados em terreiro, concordando com Saath et al. (2010), que, estudando a ultraestrutura dos grãos de café, constatou que a diferença de contração pode ser associada a outros mecanismos, devido ao longo tempo de exposição do café no terreiro até atingir o teor de água (11% b.u.).

Para o café natural observou-se que o material celular apresenta alguns pontos em forma de gota.

Nas Figuras 3A e 3B são apresentados os resultados das análises em MEV para os cafés despulpados e naturais, com teor de água de 11% (b.u.), secados com ar aquecido a 50/40°C. Para o café natural, observou-se alteração nas estruturas da membrana celular com espaço intercelular preenchido, apontando uma maior desestruturação das estruturas celulares desses cafés de acordo com os resultados de Marques (2006) e Saath et al. (2010) que, estudando o efeito da temperatura de secagem nas alterações das estruturas das membranas celulares, verificaram o mesmo fenômeno.

Verifica-se, também, que o lúmen, espaço entre a membrana plasmática e a parede celular, bem como os espaços intercelulares, apresentaram-se vazios somente para os cafés despulpados, indicando uma maior resistência desses cafés à dessecação quando comparados aos cafés naturais. Observaram-se contrações nos conteúdos das células dos dois tipos de processamento, sem, no entanto, sinais evidentes de rupturas e extravasamento celular de gotas de óleos.

Nas Figuras 4A e 4B são apresentados os resultados das análises em MEV para os cafés despulpados e naturais, secados em secadores com temperaturas de 60/40°C. Nas Figuras 5A e 5B são apresentados os resultados das análises em MEV para os cafés despulpados e

naturais, secados em secadores com temperaturas de 40/60°C.

Nas análises do endosperma com grãos de café despulpado (Figuras 4A e 4B) e natural (Figuras 5A e 5B) durante a secagem com temperatura de 60/40°C e 40/60°C, respectivamente, observou-se que o conteúdo interno das células estava bem contraído, espaços intercelulares preenchidos e com pouco material celular, ou seja, que toda a parte do citoplasma foi desidratada e apresentou pontos salientes em forma de gota sobre a contração da parede celular.

Isso significa que, com a lesão nas membranas, as glândulas de óleos presentes no perímetro interno da membrana plasmática romperam, extravasando seu conteúdo, concentrando-se em forma globular sobre o material celular, conforme constatado por Marques (2006).

Para o tratamento 60/40°C e 40/60°C, o processo de desidratação transcorreu em condições inadequadas afetando a integridade das células de acordo com os resultados de Saath et al. (2010). Na secagem com ar aquecido em temperatura de 60/40°C nota-se que os cafés despulpados não apresentaram extravasamento de gotas de óleo, quando comparados com os cafés naturais, sugerindo uma maior tolerância dos cafés despulpados à secagem com altas temperaturas. Além disso, nota-se que à temperatura de 40/60°C a contração, em algum momento, ao longo da secagem, foi mais brusca, quando comparada com a temperatura de 60/40°C, havendo alteração na integridade celular com extravasamento de óleos, independentemente do tipo de processamento utilizado, sugerindo que os danos mais graves nas estruturas celulares ocorreram após a meia-seca. Fato que corrobora com Saath et al. (2010), em que essa autora afirma que os maiores danos causados pelo uso da temperatura de 60°C ocorreram entre os teores de água de 30% e 20% (b.u.).

O mesmo autor afirma que, quando os teores de água estão acima de 30% (b.u.), toda energia transferida para os frutos é usada na evaporação da água, mantendo constante a temperatura do produto, ou seja, a temperatura do produto se mantém igual a do ar de secagem e as transferências de calor e massa se compensam, o que vem confirmar os menores danos causados pelo uso da temperatura 60/40°C. Entretanto, o uso da temperatura de 60°C após a meia-seca comprometeu a integridade celular, tanto no café natural quanto no despulpado. Segundo Borém (2004), é na fase de menor teor de água que ocorrem os maiores riscos de aquecimento do

produto. Nessa fase, a taxa de transporte interno de água é menor do que a de evaporação, dessa forma, a transferência de calor do ar para os frutos não é compensada pela transferência do vapor de água e, em consequência, a temperatura dos frutos aumenta. Nesse caso, a temperatura provoca o aumento das tensões no interior da célula, as quais podem comprometer a integridade da membrana plasmática, visto que observaram-se alterações na estrutura celular, e essas rupturas expõem a célula a processos oxidativos. Essas oxidações são um forte indicativo de que a qualidade do café não foi preservada, conforme observado por Coradi et al. (2008) nas análises sensoriais.

Verifica-se também que os maiores danos foram observados nos cafés processados por via seca, independente do tratamento de secagem utilizado, sugerindo que a maior exposição desses cafés ao processo de secagem, afeta drasticamente suas estruturas celulares.

4 CONCLUSÕES

Os estudos em MEV mostraram que, no café despolpado secado à temperatura de 50/40°C e terreiro, obtiveram uma maior integridade das membranas e vesículas celulares, sem sinais evidentes de ruptura, havendo pequena contração celular e espaços intercelulares vazios, sugerindo uma melhor condição de secagem.

Com o café natural, secado à temperatura de 40/60°C e 60/40, houve rompimento e coalescência das vesículas e rompimento das membranas com o extravasamento do conteúdo celular, formação de gotas de óleo e preenchimento dos espaços intercelulares.

Nos cafés naturais observou-se maiores danos, com rupturas e extravasamentos celulares evidentes, independente do método de secagem mecânico.

5 AGRADECIMENTOS

Ao apoio e o suporte financeiro da CAPES, UFLA, CNPq e FAPEMIG.

6 REFERÊNCIAS

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

BORÉM, F. M. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 103 p.

_____. Processamento do café. In: _____. **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 20-23.

BORÉM, F. M. et al. Caractization of the moment of endosperm cell damage during coffee drying. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COFFEE SCIENCE, 22., 2008, Campinas. **Resumes...** Campinas: ASIC, 2008. p. 14-19.

_____. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, abr./jun. 2006.

CORADI, P. C. et al. Qualidade do café natural e despolpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 181-188, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee: determination of loss mass at 105°C: ISO 6673**. Geneva, 1999. 17 p.

MARQUES, E. R. **Alterações químicas, sensoriais e microscópicas do café cereja descascado em função da taxa de remoção de água**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

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

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

RIBEIRO, D. M. et al. 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, dez. 2003.

SAATH, R. et al. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 196-203, 2010.

TAVEIRA, J. H. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade de bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem**. 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.