



VALDINEY CAMBUY SIQUEIRA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA SECAGEM DO
CAFÉ BENEFICIADO COM ALTO TEOR DE
ÁGUA E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE**

LAVRAS-MG

2014

VALDINEY CAMBUY SIQUEIRA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA SECAGEM DO CAFÉ BENEFICIADO
COM ALTO TEOR DE ÁGUA E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE**

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

Orientador

Dr. Flávio Meira Borém

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Siqueira, Valdiney Cambuy.

Viabilidade técnica da secagem do café beneficiado com alto teor de água e seus impactos na qualidade / Valdiney Cambuy Siqueira. – Lavras : UFLA, 2014.

97 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Flávio Meira Borém.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. - beneficiamento. 2. Café - teor de água. 3. Qualidade do café. 4. Café - secagem. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.736

VALDINEY CAMBUY SIQUEIRA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA SECAGEM DO CAFÉ BENEFICIADO
COM ALTO TEOR DE ÁGUA E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE**

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

APROVADA em, 1 de julho de 2014

Dr. Osvaldo Resende	IF Goiano
Dr. Ednilton Tavares de Andrade	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Malta	EPAMIG
Dr. José Henrique da Silva Taveira	UFLA

Dr. Flávio Meira Borém
Orientador

LAVRAS - MG
2014

Aos meus pais, José Siqueira e Dulce Cambuy e minhas irmãs, Josiane e
Aline, pelo imenso amor, incentivo e apoio.

DEDICO

À minha esposa, Patrícia, pelo companheirismo, amor, confiança,
carinho e apoio na construção deste ideal.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, a saúde e a esperança.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

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

Aos professores dos Departamentos de Engenharia Agrícola e Agricultura da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e harmoniosa convivência.

Ao professor Flávio Meira Borém, pela orientação, amizade, compreensão, confiança, incentivo e ensinamentos, que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e para o meu crescimento profissional.

Aos meus pais, José Siqueira Neto e Dulce Cambuy Siqueira e às minhas irmãs, Josiane Cambuy Siqueira e Aline Cambuy Siqueira, por serem meu melhor exemplo de força, união, dedicação e perseverança, e pelo apoio incondicional na minha formação. Sou e serei eternamente grato a vocês.

À minha esposa, Patrícia Lopes de Freitas Siqueira, pelo afeto, carinho, companheirismo, amor, compreensão e cumplicidade, presentes em todos os momentos desta caminhada.

Aos familiares e amigos, pelo apoio e torcida.

Aos coorientadores e membros da banca, pela disponibilidade e contribuição no aprimoramento deste trabalho.

À equipe produção (Eder, Guilherme, Afonso Celso, Diego e Flávio), pelos “palpites certos” e pela enorme contribuição na realização deste trabalho. Verdadeiros irmãos. Contem comigo sempre.

A José Henrique e Fabiana, pela amizade construída e pelo suporte nesses anos de doutorado.

A toda equipe do Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, Eder, Juliana, Fabiana, José Henrique, Murilo, Diego Ribeiro, Guilherme, Luisa, Marcos, Diego Domingues, Fabrício, Afonso, Flávio, Caio, Janaína, Ana, Isabela, Carlos Henrique, Ricardo, Paula, Camila, Wilson, Danilo, Samuel, Lourenço e Giselle.

Aos funcionários da UFLA, Sr. Edson, Sandra, Greice e Helem, pela dedicação, carinho e amizade que sempre recebi de vocês.

Ao Departamento de Engenharia, pela disponibilidade dos equipamentos e da estrutura para a realização dos trabalhos.

Ao professor Osvaldo Resende (eterno orientador), pela orientação durante a graduação e o mestrado e o incentivo durante o doutorado. Maior responsável pelo meu ingresso no meio científico e pela carreira acadêmica.

Aos professores Fernandes, Silvestre e Emanuel e aos amigos Ramón, Renan, Wagner, Tarcísio e Douglas, pela imensa contribuição durante a graduação e o mestrado.

Obrigado!

Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar no sonho que se tem, ou que seus planos nunca vão dar certo, ou que você nunca vai ser alguém.

Renato Manfredini Júnior (Renato Russo)

RESUMO

Na cadeia produtiva do café, o processo de secagem é a etapa que mais carece de desenvolvimento. Trata-se de uma operação extremamente importante para a manutenção da qualidade do café, contribuindo para a formação dos custos de produção, sendo, atualmente, caracterizada por um processo lento e, em muitos casos, dificultando o rendimento das demais operações. Assim surge a necessidade de novas metodologias que acelerem esse processo. Diante disso, este trabalho foi realizado com os objetivos de reduzir o tempo de secagem do café natural, sem prejuízos à qualidade final do produto e estudar a cinética de secagem durante este processo. Os frutos colhidos no estágio maduro foram divididos em três lotes. O primeiro foi seco à temperatura de 40 ± 1 °C até atingir o teor de água de aproximadamente $11\pm 0,5\%$ em base úmida (b.u.), no grão. O segundo lote foi submetido à secagem na mesma temperatura, até atingir os teores de água de 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e $17\pm 2\%$ b.u. e, posteriormente, foi beneficiado e submetido à secagem contínua, nas temperaturas de 35 ± 1 °C e 40 ± 1 °C, até atingirem o teor de água de $11\pm 0,5\%$ b.u. O terceiro lote correspondeu à secagem do café em pergaminho na temperatura de 40 °C, até atingir o teor de água de, aproximadamente, $11\pm 0,5\%$ b.u.. Na primeira parte do experimento, objetivou-se avaliar o comportamento dos grãos submetidos a este novo método de secagem, por meio da taxa de redução de água e do ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem. Verificou-se que a taxa de redução de água é maior para a temperatura de secagem de 40 ± 1 °C, quando comparada à de 35 ± 1 °C, e essa diferença é reduzida quando o teor de água do café beneficiado diminui. O tempo total de secagem do café beneficiado com alto teor de água é expressivamente reduzido, quando comparado ao tempo de secagem completa do café natural na temperatura de 40 ± 1 °C. O modelo de Midilli descreve satisfatoriamente a cinética de secagem do café beneficiado e submetido à secagem, nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C. Na segunda parte do experimento, utilizando apenas os dois primeiros lotes, objetivou-se avaliar a qualidade do café, após diferentes métodos de secagem. Verificou-se que o método de processamento e secagem proposto reduz em mais de 50% o tempo desta operação, quando comparado ao sistema de secagem artificial com ventilação forçada do café natural. O beneficiamento do café com alto teor de água, seguido de secagem mecânica nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C, não compromete a qualidade do café e o beneficiamento do café com $36\pm 2\%$ b.u. favorece a obtenção de bebida de melhor qualidade.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Beneficiamento. Teor de água. Cinética de secagem. Qualidade.

ABSTRACT

Within the coffee production chain, the drying process is the step which most needs to be developed. It is an extremely important operation for maintaining coffee quality, contributing to composition of production costs. It currently consists of a slow process, and in many cases it creates difficulties for throughput of other operations. Thus, the need arises for new methodologies that accelerate this process. With this in mind, this study was carried out with the overall aim of reducing the drying time of natural coffee without harm to the final quality of the product and of studying coffee drying kinetics throughout the drying process. Coffee fruits harvested at a mature stage were divided up into three lots. The first was dried at a temperature of $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ until reaching moisture content of approximately $11\pm 0.5\%$ wet basis (w.b.) in the bean. The second lot was dried at the same temperature until reaching moisture levels of 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 , and $17\pm 2\%$ w.b. and then processed and subjected to continuous drying at the temperatures of $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ and $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ until reaching the moisture content of $11\pm 0.5\%$ w.b.. The third lot corresponds to drying of parchment coffee at the temperature of 40°C until reaching the moisture content of approximately $11\pm 0.5\%$ w.b.. In the first part of the experiment, we aimed to evaluate the behavior of the beans subjected to this new method of drying through the moisture reduction rate and fitting of different mathematical models to the experimental data of drying. The following observations were made: the moisture reduction rate is greater for the drying temperature of $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ when compared to $35\pm 1^{\circ}\text{C}$, and this difference is reduced when the moisture content of the processed coffee decreases. The total drying time of the coffee processed with high moisture content is significantly reduced when compared to the complete drying time of natural coffee at the temperature of $40\pm 1^{\circ}\text{C}$. The Midilli model describes, in a satisfactory way, the drying kinetics of the coffee processed and subjected to drying at the temperatures of 35 ± 1 and $40\pm 1^{\circ}\text{C}$. In the second part of the experiment, using only the first two lots, we aimed to evaluate coffee quality after different drying methods. It was seen that the processing and drying method proposed reduces the time of this operation by more than 50% when compared to the artificial drying system of natural coffee with forced ventilation. Processing the coffee with a high moisture content followed by mechanical drying at the temperatures of 35 ± 1 and $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ does not compromise coffee quality. Processing the coffee with $36\pm 2\%$ w.b., helps to obtain a better quality beverage.

Keywords: *Coffea arabica* L. Coffee processing. Moisture content. Drying kinetics. Quality.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 Estrutura do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)..... 20

ARTIGO 1

Figura 1 Fluxograma dos procedimentos do processamento e secagem do café..... 48

Figura 2 Secadores utilizados para a secagem do café..... 49

Figura 3 Taxa de redução de água dos grãos de café beneficiados com alto teor de água e submetidos à secagem em duas condições de ar..... 55

Figura 4 Ilustração da distribuição dos resíduos: “A” e “C” Aleatória para o modelo de Midilli; “B” e “D” Tendenciosa para o modelo de Verma; para os grãos de café beneficiados com diferentes teores de água iniciais e submetidos à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C..... 61

Figura 5 Valores da razão de teor de água experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para os grãos de café beneficiados com diferentes teores de água e submetidos à secagem na temperatura de 40 ± 1 °C..... 64

Figura 6 Valores da razão de teor de água experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para os grãos de café beneficiados com diferentes teores de água e submetidos à secagem na temperatura de 35 ± 1 °C..... 64

ARTIGO 2

Figura 1 Fluxograma dos procedimentos do processamento e secagem do café..... 79

Figura 2 Secadores utilizados para a secagem do café..... 80

Figura 3 Representação do sólido de Hunter..... 84

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Teor de água equilíbrio (kg de água kg de matéria seca ⁻¹) estimados pela equação de Harkins-Jura modificada para grãos de café.....	52
Tabela 2	Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos agrícolas.....	52
Tabela 3	Parâmetros estatísticos obtidos para os modelos de secagem utilizados para descrever a cinética de secagem do café beneficiado.....	58
Tabela 4	Distribuição dos resíduos (A = aleatória; T = tendenciosa) para os dez modelos analisados, durante a secagem do café beneficiado com diversos teores de água em duas condições de temperatura.....	60
Tabela 5	Parâmetros do modelo de Midilli ajustados para as diferentes condições de secagem dos grãos de café.....	63

ARTIGO 2

Tabela 1	Tempo de secagem (horas) dos grãos após o beneficiamento com diferentes teores de água e secagem em duas condições de temperatura.....	85
Tabela 2	Resumo da análise de variância para condutividade elétrica (CE), lixiviação de potássio (LK), Lercafé, nota sensorial, coordenada "A" (Coord "A"), coordenada "B" (Coord "B") e luminosidade (Lum) dos grãos de cafés após diferentes métodos de processamento e secagem.....	86
Tabela 3	Condutividade elétrica (CE), lixiviação de potássio (LK), lercafé, análise sensorial, coordenada "A" (Coord "A"), coordenada "B" (Coord "B") e Luminosidade dos grãos de café submetidos à secagem após o beneficiamento comparativamente a secagem do café natural.....	87
Tabela 4	Coordenadas "A" e "B" e luminosidade dos cafés beneficiados com altos teores de água e submetidos à duas condições de secagem.....	89
Tabela 5	Valores médios de condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), lixiviação de potássio (LK, ppm), Lercafé (%), nota sensorial, coordenada "A" (Coord "A"), coordenada "B" (Coord "B") e luminosidade (Lum) para o café beneficiado com altos teores de água e submetido à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.....	89

Tabela 6	Conductividade elétrica (CE, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), lixiviação de potássio (LK, ppm), Lercafé (%) e nota sensorial, para o café beneficiado com altos teores de água e submetido à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.....	91
----------	---	----

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Cafeicultura.....	19
2.2	O fruto do cafeeiro.....	20
2.3	Secagem.....	21
2.3.1	Modelagem matemática e simulação da secagem.....	25
2.4	Indicadores de qualidade.....	26
2.4.1	Análise sensorial.....	27
2.4.2	Análises fisiológicas.....	28
2.4.3	Lercafê.....	29
2.4.4	Cor.....	30
	REFERÊNCIAS.....	32
	SEGUNDAPARTE - ARTIGOS.....	40
	ARTIGO 1 CINÉTICA DE SECAGEM DOS GRÃOS DE	
	CAFÉ BENEFICIADOS COM ALTO TEOR DE	
	ÁGUA.....	41
1	INTRODUÇÃO.....	44
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4	CONCLUSÕES.....	65
5	AGRADECIMENTOS.....	65
	REFERÊNCIAS.....	66
	ARTIGO 2 NOVA METODOLOGIA PARA SECAR CAFÉ E	
	SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE.....	71
1	INTRODUÇÃO.....	74
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	78
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
4	CONCLUSÕES.....	92
5	AGRADECIMENTOS.....	92
	REFERÊNCIAS.....	93

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O café, quando colhido maduro, se encontra com teor de água muito alto. Isso aumenta o tempo de secagem e demanda mais energia para completar o processo, independentemente do sistema empregado, seja secagem artificial com ventilação forçada (secadores) ou secagem artificial com ventilação natural (terreiros).

Quanto maior o tempo de secagem, maior é a exposição do café a agentes que podem prejudicar a sua qualidade, principalmente em casos de secagem em terreiros, devido às variações das condições climáticas (temperatura e umidade relativa), ao ataque de microrganismos, às fermentações indesejáveis do próprio material, etc. Nessas condições inadequadas, o produto apresentará uma série de defeitos, perdendo qualidade e deixará de atender às exigências do mercado consumidor.

Como a secagem é um dos principais fatores que influenciam a qualidade do café, contribuindo significativamente para formação dos custos de produção, maiores conhecimentos sobre essa fase pós-colheita e o desenvolvimento de novas tecnologias para acelerar este processo sem perda na qualidade final do café podem significar um grande “salto” para a cafeicultura mundial. Atualmente, a falta de tecnologia para reduzir o tempo e o custo da secagem fez com que essa etapa se tornasse o gargalo da cafeicultura, status até recentemente ocupado pela colheita.

Com a tecnologia atual, o tempo médio de secagem mecânica do café varia de 40 a 60 horas, dependendo do tipo de processamento do produto. Esses tempos são obtidos após o café passar por pré-secagem em terreiro e atingir o teor de água de aproximadamente 30% b.u. para o café natural e 25% b.u. para o café descascado. No caso de secagem completa do café em secadores, o tempo total do processo pode ultrapassar a 100 horas para o café natural ou em coco.

Esse tempo é considerado extremamente alto, quando comparado com o de outros produtos e, conseqüentemente, vários produtores fazem uso de temperaturas acima do recomendado para reduzir o tempo de secagem do café, acarretando perdas de qualidade dos grãos.

Aliado aos danos térmicos provocados pelo excesso de temperatura durante a secagem em secadores mecânicos, tem se observado grande número de defeitos formados durante a secagem em terreiro. Na maioria das vezes, o manejo adotado pelos produtores durante o processo de secagem não atende às recomendações técnicas. Diversos produtores ainda utilizam terreiro de chão batido, com o produto espalhado em camada espessa e revolvido poucas vezes ao dia.

A aceleração do processo de secagem de produtos agrícolas, normalmente, é feita por meio do emprego de altas temperaturas. No caso da secagem do café, esse efeito também pode ser obtido com a remoção de tecidos externos dos frutos que representam barreira à saída da água.

O uso de temperatura de secagem superior a 40 °C, além de promover danos térmicos ao café, provoca danos físicos no endosperma e ruptura de membranas celulares em decorrência das altas taxas de secagem que, invariavelmente, reduzem a qualidade final da bebida.

Já a remoção dos tecidos externos do café ocorre no processamento por via úmida, envolvendo a retirada do exocarpo e a retirada parcial ou total do mesocarpo. Nesse tipo de processamento, normalmente, ocorre a produção de um grande volume de água residuária. Essa água tem alto poder impactante ao meio ambiente, devido à sua alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Existem métodos eficazes na redução da DBO da água residuária do café que permitem, inclusive, o seu reaproveitamento. No entanto, a água é um dos principais recursos naturais e tem recebido grande atenção de todos os países,

nos últimos anos, pois a quantidade e a qualidade desse recurso têm sido reduzidas significativamente com o passar do tempo.

Os componentes estruturais do café, exocarpo, mesocarpo e endocarpo, não fazem parte do produto final desejado, atuam como barreira física na remoção da água da semente e demandam mais energia para a secagem, pois também são providos de grande quantidade de água. Logo, a remoção dessas partes, sem a utilização de água em um momento adequado durante a secagem, pode promover uma redução no tempo de secagem, sem causar impacto ao meio ambiente.

Com a retirada do pericarpo (exocarpo, mesocarpo e endocarpo) ocorre redução do volume do produto, que diminui os custos com o transporte e aumenta o rendimento do secador. Esses dois parâmetros refletem diretamente a quantidade de energia gasta durante o processo e os benefícios não estão tão somente relacionados a custo, mas também a benefícios ambientais, já que a lenha é a principal biomassa utilizada durante a secagem do café.

A retirada do exocarpo, do mesocarpo e do endocarpo deve ser realizada em um momento específico, para que os grãos não sofram danos mecânicos durante o processo. Atualmente, para a secagem do café natural, a remoção dessas partes só é realizada quando o produto já se encontra com o teor de água recomendado para o armazenamento (11% base úmida), ou seja, após a secagem. Com o beneficiamento do fruto, a secagem do café passa a ser semelhante à de outros grãos. No entanto, o café é um produto sensível à temperatura e, como é um dos poucos produtos agrícolas que têm o preço vinculado diretamente à sua qualidade, torna-se também necessário estudar não só o momento em que será feita a remoção do pericarpo, mas também estipular qual a temperatura ideal para a secagem do produto após o beneficiamento.

Diante da realidade atual da pós-colheita do café, surge a necessidade de uma nova metodologia de secagem que permita reduzir o tempo e o custo sem

perda de qualidade do produto. A remoção do exocarpo, do mesocarpo e do endocarpo do café, durante a secagem, pode significar esse avanço e trazer benefícios para a cafeicultura brasileira, tanto do ponto de vista qualitativo, como do operacional e financeiro.

Diante disso, este trabalho foi realizado com os objetivos gerais de reduzir o tempo de secagem do café natural sem prejuízos à qualidade final do produto e estudar a cinética de secagem do café durante este processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura

O Brasil é o maior exportador e produtor mundial de café, com produção estimada, para a safra de 2013/14, de 44,57 milhões de sacas de 60 kg do produto, sendo o estado de Minas Gerais responsável por, aproximadamente, 51,58% do volume total produzido (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014).

De acordo com Durigan et al. (2007), o Brasil se destaca na mecanização de suas lavouras, na diversificação do material genético e das regiões propícias à plantação, na infraestrutura e no nível de tecnologia, em relação ao Vietnã, à Indonésia e à Colômbia.

Embora seja o líder no mercado mundial, o Brasil ainda tem uma imagem internacional de fornecedor de grande quantidade de cafés comuns e de baixo preço, utilizados na composição de blends, enquanto países como Quênia, Colômbia, Guatemala e Costa Rica, entre outros, são reconhecidos e valorizados pela qualidade de seus cafés.

Os países da América Central e da Ásia, assim como a Colômbia, investiram na produção de um café de melhor qualidade, associado à estratégia de marketing e, com isso, ganharam espaço no cenário mundial. Diante disso, várias instituições brasileiras, públicas e privadas têm capacitado os produtores na busca de adaptação aos padrões atuais de produção e comercialização do café exigidos pelo mercado.

2.2 O fruto do cafeeiro

O fruto do café é classificado como uma drupa de forma elipsoide que, normalmente, contém dois lóculos e duas sementes. O pericarpo é formado pelo exocarpo, que é o tecido mais externo (casca), o mesocarpo, a camada mucilaginosa e o endocarpo, que também recebe o nome de pergaminho. A semente é plano-convexa, sendo formada por embrião, endosperma e espermoderma (película prateada). O embrião é encontrado na superfície convexa da semente, envolvido pelo endosperma (BORÉM; SALVA; SILVA, 2008; RENA; MAESTRI, 1986).

O endosperma é um tecido único, formado a partir da fusão dos núcleos vegetativos e reprodutivo, formando um tecido $3n$. É o principal tecido de reserva, sendo o de maior volume da semente madura (BORÉM; SALVA; SILVA, 2008). Este componente é, basicamente, a única estrutura de interesse para a comercialização e torrefação, pois nele estão os compostos precursores do sabor e do aroma percebidos na bebida, após a torrefação.

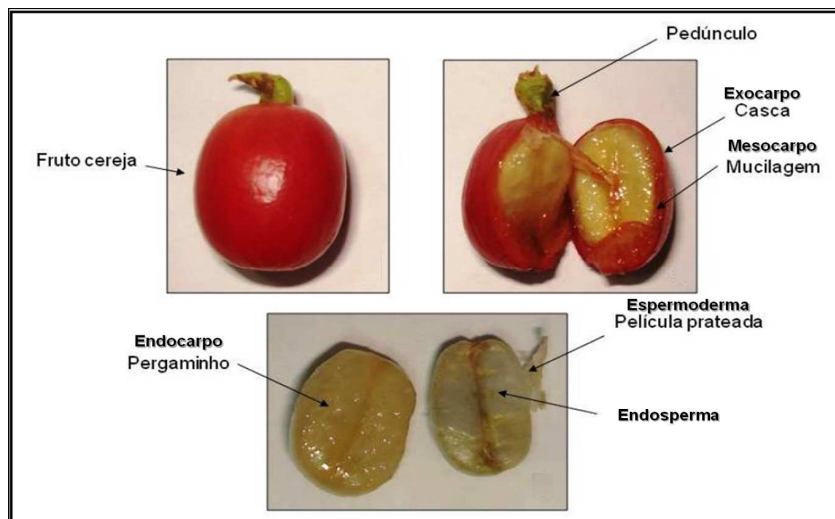


Figura 1 Estrutura do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

Fonte: Adaptado de Dalvi (2011).

Quando se realiza a secagem com o fruto inteiro (via seca), grande parte da energia empregada é utilizada para a remoção da água do exocarpo e da mucilagem, partes sem interesse para a comercialização. Com isso, o processo fica mais lento e de custo mais elevado, pois, além do consumo desnecessário de energia, o exocarpo, o mesocarpo e o endocarpo do fruto atuam como barreira física à saída de água da semente.

2.3 Secagem

A crescente exigência por qualidade e a redução de custos de produção estão levando produtores e pesquisadores a buscarem novas tecnologias nos vários segmentos da cafeicultura. Dentre as diversas etapas da pós-colheita (processamento, secagem, armazenamento, beneficiamento e transporte), a secagem é a de maior relevância, tanto do ponto de vista de consumo de energia e formação dos custos de processamento, como do ponto de vista da preservação da qualidade (BORÉM et al., 2008; BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; DONZELES et al., 2007; OCTAVANI; BIAGI, 2004; OLIVEIRA et al., 2013; RESENDE et al., 2011).

Para a produção de cafés com qualidade, os frutos do cafeeiro devem ser colhidos no estágio maduro (DALVI et al., 2013), impossibilitando seu armazenamento em condições naturais, por decorrência do alto teor de água. Logo, torna-se necessário reduzir o teor de água do café para a conservação com segurança.

A secagem pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem (BROOKER; BAKKER-ARKEMA; HALL, 1992), que consiste na remoção do excesso de água do produto por meio de evaporação, em geral, causadas por

forças de convecção de ar aquecido, com o objetivo de manter a qualidade do produto durante o armazenamento. Vários fatores afetam o processo de secagem do café, tais como o teor de água inicial, o método de secagem, a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem, a velocidade do ar e o tempo de secagem. Para que ocorra secagem de um produto, é necessário que a pressão parcial de vapor d'água em sua superfície (P_g) seja maior do que a pressão parcial do vapor d'água no ar de secagem (P_{ar}) (PABIS; JAYAS; CENKOWSKI, 1998).

A secagem do café pode ser realizada com os frutos intactos, ou seja, na sua forma integral, com todos os seus componentes estruturais: exocarpo (casca), mesocarpo (polpa e mucilagem), endocarpo (pergaminho), espermoderma (película prateada) e endosperma (grão), dando origem ao café comumente denominado de café em coco ou natural, em frutos descascados, removendo-se o exocarpo e o mesocarpo. Quando esta remoção é feita mecanicamente, dá-se o nome de café desmucilado e, no caso de remoção da mucilagem por meio de fermentação, dá-se o nome de café despulpado (BORÉM, 2008; RIBEIRO et al., 2003).

Segundo Borém (2008), no Brasil, ainda é pequena a quantidade de produtores que processam o café por via úmida, comparado ao volume total de café produzido no país. Entretanto, sua utilização cresce a cada ano, não apenas para atender às necessidades das regiões com maiores limitações para o processamento por via seca (natural), mas como medida para potencializar o uso das instalações para o processamento do café.

Normalmente, cafés processados por via seca são conceituados como tendo qualidade inferior à dos cafés processados pela via úmida (descascado, despulpado e desmucilado). No entanto, essa diferença não deve ser atribuída somente ao processamento, mas também aos cuidados que se estendem desde a colheita até as fases pós-colheita, como, por exemplo, a mistura de frutos imaturos em meio a frutos maduros e longos períodos de secagem, no caso do

café natural, favorecendo a ocorrência de microrganismos e fermentações indesejáveis (BORÉM, 2008).

A secagem bem conduzida pode resultar, para os cafés secos na sua forma natural (via seca) ou em pergaminho (via úmida), em produto de boa qualidade (BATISTA et al., 2003; BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; ISQUIERDO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; REINATO et al., 2007; TAVEIRA et al., 2012).

A secagem pode ser realizada de diversas maneiras: com ventilação natural (em terreiros), ventilação forçada (secadores) ou, ainda, de forma combinada (terreiros e secadores). Na secagem em terreiros, ou com ar natural, o produto é retirado da planta e depositado em um pátio previamente preparado, denominado terreiro, e a radiação solar é a energia utilizada para a remoção do teor de água. Esses terreiros podem ser construídos de concreto, asfalto, tijolos, chão batido, leito suspenso e lama asfáltica. O produto é espalhado sobre a superfície e revolvido periodicamente. No entanto, este método requer um maior tempo de secagem e exige extensas áreas e condições climáticas de alta temperatura e baixa umidade relativa (BORÉM REINATO; ANDRADE, RESENDE et al., 2007, 2008; SILVA et al., 2013).

Segundo Hernández-Díaz et al. (2008), os riscos de contaminações são maiores durante a secagem no terreiro, devido ao contato do produto com o solo (no caso do terreiro de chão batido), além de haver reumedecimento do café em condições de alta umidade relativa. Reinato et al. (2012) verificaram que a qualidade do café é influenciada tanto pelo tipo de terreiro quanto pela espessura da camada de secagem. Esses problemas podem ser eliminados com a secagem artificial em altas temperaturas.

No sistema de secagem artificial com ventilação forçada, a água é retirada do produto por intermédio de ar aquecido forçado a passar em meio à massa de grãos. Esse método exige maiores investimentos na construção ou na

aquisição, bem como no consumo de combustível (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; SILVA et al., 2013).

A secagem combinada utiliza os dois sistemas, secagem em terreiros e em secadores. Primeiramente, realiza-se a pré-secagem em terreiro até o café atingir a meia seca (aproximadamente 30% b.u., para o café natural e 25% b.u., para o café descascado). Posteriormente, o produto é levado a secadores e a secagem é completada utilizando-se altas temperaturas (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; RESENDE et al., 2007; SILVA et al., 2013).

No processo de secagem artificial com ventilação forçada, as elevadas temperaturas tornam a operação mais rápida e, portanto, mais econômica. Porém, diversas pesquisas têm demonstrado que temperaturas, na massa de café, acima de 40 °C, causam prejuízos à sua qualidade em decorrência de alterações físicas, químicas e sensoriais (BORÉM et al., 2008; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; MARQUES et al., 2008; SAATH et al., 2010). Isquierdo et al. (2013) afirmam que a temperatura de 35 °C é recomendada para a produção de cafés naturais especiais.

O manuseio inadequado do café maduro depois da colheita, como a utilização de temperaturas elevadas de secagem, pode levar à degeneração da membrana plasmática (BORÉM REINATO; ANDRADE, 2008). As alterações na estrutura da membrana plasmática e a sua capacidade de atuar como uma barreira semipermeável são os principais fatores responsáveis pela diminuição da qualidade do café (SALAZAR et al., 1994).

A degradação e a desestruturação do sistema de membranas celulares dos grãos de café permitem que componentes químicos, antes compartimentalizados, entrem em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas, afetando as características de cor, sabor e aroma da bebida (MARQUES et al., 2008).

Tendo em vista os danos que a secagem mal conduzida pode proporcionar ao café, busca-se melhor controle dos parâmetros envolvidos nesse processo, como temperatura do ar de secagem, temperatura da massa de grãos e umidade relativa e fluxo de ar, no intuito de minimizar situações adversas ao produto (BORÉM REINATO; ANDRADE, 2008).

As alterações dos parâmetros de secagem podem promover diferentes taxas de secagem que estão relacionadas com a quantidade de água removida de uma determinada massa de produto em um determinado período de tempo. De acordo com Burmester e Eggers (2010), a taxa de secagem é influenciada, principalmente, pela temperatura do ar de secagem. No entanto, outros fatores, como fluxo de ar e umidade relativa, também podem alterá-la. Isquierdo et al. (2013) concluíram que elevadas taxas de secagem têm efeito negativo na produção de cafés naturais especiais quando estes são secos a 35 °C.

2.3.1 Modelagem matemática e simulação da secagem

Diante da importância do processo de secagem, essa etapa deve ser prevista, dimensionada e planejada com antecedência, de forma que se reduzam os riscos e maximize o rendimento. Nesse sentido, o emprego de algumas técnicas, como o ajuste de modelos matemáticos, pode trazer algumas contribuições (ALVES et al., 2013; CORRÊA et al., 2010; ISQUIERDO et al., 2013; SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática, cujo princípio se fundamenta na representação da secagem de sucessivas camadas delgadas do produto com a utilização de um modelo matemático que represente satisfatoriamente a redução da água contida no produto (ANDRADE; BORÉM, 2008).

Uma equação descrevendo a taxa de secagem de uma camada fina é necessária para a simulação de secagem em camada espessa porque os modelos de simulação são, geralmente, baseados no pressuposto de que a camada espessa é composta por uma série de camadas finas (KASHANINEJAD et al., 2007).

O ajuste de modelos matemáticos para a secagem dos produtos agrícolas fornece informações de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos. Com essas informações, pode-se estimar o tempo de secagem e, conseqüentemente, o gasto energético que refletirá no custo de processamento (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013; VILELA; ARTUR, 2008).

As curvas de secagem, em camada delgada, variam com a espécie, a variedade, as condições ambientais e os métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (ALEXANDRE et al., 2013; CORRÊA et al., 2007; RESENDE et al., 2008).

Como o processo de secagem tem influência direta na qualidade do café, é importante que, na realização de estudos que envolvam esse processo, sejam utilizados cafés com potencial para produzir bebida de alta qualidade. Diferentemente dos cafés comuns ou *commodities*, pequenas alterações na temperatura da massa durante a secagem, bem como diferentes umidades relativa, podem promover mudanças nas características sensoriais desses cafés (BORÉM et al., 2008; ISQUIERDO et al., 2013).

2.4 Indicadores de qualidade

A qualidade do café é determinada, principalmente, pelo seu sabor e aroma, formados durante a torração a partir de compostos químicos presentes no grão cru. Porém, a presença desses precursores no grão cru depende de fatores

genéticos, ambientais e tecnológicos, como os métodos de processamento e secagem (FARAH et al., 2006; MALTA;CHAGAS; OLIVEIRA, 2003).

Atualmente, existem várias análises que podem servir como indicadores de qualidade. Essas análises servem para identificar o estado físico, fisiológico, sanitário e nutricional de um produto e ajudar na compreensão de fenômenos e/ou alterações que ocorrem nos produtos agrícolas durante ou após determinadas etapas (CORADI et al., 2007; FARAH et al., 2006; ISQUIERDO et al., 2012; MALTA et al., 2013; REINATO et al., 2007; SAATH et al., 2012; SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009; TAVEIRA et al., 2012).

No caso específico do café, é extremamente importante o conhecimento desses indicadores, pois existe alta correlação entre eles e as propriedades detectadas na xícara de café durante a degustação. Neste caso, os cafés considerados como os de melhor qualidade são aqueles que expressam ao máximo características sensoriais agradáveis.

2.4.1 Análise sensorial

A análise sensorial, realizada por provadores certificados, é o principal indicador de qualidade do café. Essa análise baseia-se nas percepções gustativas e olfativas sentidas no momento da prova sensorial, embora seja considerada por algumas pessoas como uma análise subjetiva, tem mostrado bons resultados, promovendo uma correlação positiva com as demais análises realizadas como indicadora de qualidade do café (BORÉM et al., 2013; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; CORADI et al., 2007; ISQUIERDO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; RESENDE et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011).

Um provador de café deve ter sensibilidade olfativa e gustativa para poder diferenciar nuances especiais formadas na bebida do café, identificando com precisão a qualidade da bebida (ILLY, 2002).

Tradicionalmente, os cafés *commodities* são classificados, pela prova de xícara, seguindo as recomendações da Instrução Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2003), em bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada, rio e rio zona.

Para análise de cafés especiais, a metodologia mais recomendada, proposta por Lingle (2011), estabelece a avaliação de diferentes atributos, como doçura, corpo e acidez, entre outros. Os atributos recebem notas de zero a 10. O café recebe uma nota total a partir do somatório das notas dadas aos atributos, sendo considerado especial o que obtiver nota total acima de 80 pontos. Essa metodologia, diferentemente da Instrução Normativa nº 8 do MAPA, preconiza a utilização de procedimentos padronizados (protocolo) em todas as etapas do preparo e da análise do café. De acordo com Lingle (2001), a análise sensorial dos cafés especiais é realizada por etapas ou estágios. No estágio olfativo, são avaliados os compostos orgânicos voláteis, sejam as substâncias que ocorrem naturalmente ou aquelas que são formadas depois do processo de torra. No estágio gustativo avaliam-se as substâncias solúveis em água, principalmente compostos químicos orgânicos ou inorgânicos.

Segundo Giomo e Borém (2011), um café especial deve apresentar um caráter distinto na xícara e ser notavelmente bom, pois, mesmo apresentando bom aspecto físico, se, após a torra, não for altamente aromático e agradável ao paladar, deixará de ser especial.

2.4.2 Análises fisiológicas

As análises fisiológicas dos grãos de café são consideradas uma valiosa ferramenta para avaliar a qualidade de sua bebida. Em vários trabalhos (CORADI et al., 2007; ISQUIERDO et al., 2012; REINATO et al., 2007, 2012)

tem sido demonstrado que a qualidade do café está intimamente ligada com resultados obtidos nos testes de condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

O processo de secagem pode causar estresse térmico e, em alguns casos, provocar danos que comprometem as estruturas anatômicas do café. Esses danos, que normalmente depreciam a qualidade da bebida, podem ser mensurados ou estimados por testes que servem de parâmetro para indicar o estado de organização das células, bem como a integridade das membranas celulares e das reservas presentes no endosperma.

O teste de condutividade elétrica é altamente eficiente na avaliação da qualidade dos grãos, uma vez que, nesse teste, é determinada a quantidade de íons lixiviados na solução de embebição dos grãos (VIEIRA et al., 2002). Segundo Prete (1992), grande parte da condutividade elétrica se deve à lixiviação de íons potássio. Logo, a determinação da quantidade de potássio lixiviado também pode ser utilizada como indicador da integridade das membranas celulares.

Coradi et al. (2007) verificaram que o aumento da temperatura de secagem causa danos ao sistema de membranas celulares dos grãos de café, aumentando a condutividade elétrica do exsudado dos grãos. Os mesmos autores afirmam que, com o extravasamento dos ácidos graxos presentes no interior celular devido à desorganização ou ao rompimento das membranas citoplasmáticas, podem ocorrer reações oxidativas ou reações catalíticas com produtos indesejáveis e prejudiciais à qualidade sensorial da bebida do café.

2.4.3 Lercafé

As análises fisiológicas, como o teste de germinação, condutividade elétrica e lixiviação de potássio, demoram muito tempo para a obtenção dos resultados, ou exigem aquisição de equipamentos de custo elevado. Diante disso, Reis et al. (2010) desenvolveram um novo teste, o Lercafé, a fim de obter

resultados em um menor período de tempo e utilizando um produto (hipoclorito de sódio) de baixo custo.

Esta avaliação rápida é possível, uma vez que o hipoclorito de sódio, em determinadas concentrações, reage nas áreas mortas ou lesionadas do endosperma do grão de café, fazendo com que o tecido, nessas condições, assuma coloração esverdeada. Se esta coloração ocorrer em grande área do endosperma ou na região sobre e/ou ao redor do embrião, o grão é considerado não germinável. Se o grão apresentar coloração em região distante do embrião ou não apresentar coloração, este é considerado germinável (ZONTA et al., 2010). Como o teste proporciona a visualização de áreas mortas ou lesionadas, ele pode ser relacionado não só com o potencial germinativo, mas também com a integridade do grão e, conseqüentemente, sua qualidade.

Testes como o do Lercafé têm se mostrado eficientes para uma avaliação rápida dos grãos de café. Nos trabalhos (REIS et al., 2010; ZONTA et al., 2008, 2009, 2010) realizados com essa técnica, foi possível observar e quantificar as injúrias causadas nos grãos por danos provenientes do ataque de insetos na lavoura e da temperatura de secagem, durante o beneficiamento e as condições de armazenamento.

2.4.4 Cor

A uniformidade, a forma, o tamanho e a cor dos grãos de café interferem diretamente na rejeição ou na aceitação do produto no mercado. Monteiro (2002) afirma que a cor do grão de café está diretamente relacionada à qualidade da bebida do mesmo e enfatiza que a cor do grão cru tem grau de importância superior ao do tamanho.

Normalmente, os grãos de café atendem ao padrão de cor verde-azulada e que pode mudar gradualmente para verde-amarelada, amarela ou totalmente

esbranquiçada, decorrente de operações de secagem e armazenamento inadequadas (CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; LEITE et al., 1998; RIBEIRO et al., 2011). Essa variação na cor dos grãos constitui um forte indicativo de ocorrência de processos oxidativos e transformações bioquímicas de natureza enzimática que podem alterar a composição dos precursores do sabor e do aroma dos grãos, resultando na queda de qualidade da bebida (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003; CORRÊA et al., 2003; GODINHO et al., 2000; RIBEIRO et al., 2011; VILELA; CHANDRA; OLIVEIRA, 2000).

Amorim (1978) observou que a descoloração ocorre, principalmente, em razão da desestruturação das membranas celulares, que pode ser causada por agentes externos, como temperatura, umidade relativa do ar e injúrias mecânicas. Logo, as etapas pós-colheita, como a secagem e o armazenamento, devem ser planejadas e bem conduzidas, a fim de evitar danos ao endosperma, ou reações enzimáticas e oxidativas que podem alterar a cor do grão, assim como a etapa de beneficiamento, que utiliza um sistema mecânico para a remoção da casca e do pergaminho e pode promover trincas ou um dano latente que será evidenciado posteriormente no armazenamento.

REFERÊNCIAS

- AFONSO JUNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, nov./dez. 2003.
- ALEXANDRE, H. V. et al. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013.
- ALVES, G. E. et al. Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2013.
- AMORIM, H. V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. 1978. 85 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1978.
- ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M. Modelagem matemática e simulação aplicados na secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 301-347.
- BATISTA, L. R. et al. Toxigenic fungi associated with processed (green) coffee beans (*Coffea arabica* L.). **International Journal of Food Microbiology**, Bethesda, v. 85, n. 3, p. 293-300, 2003.
- BORÉM, F. M. Processamento do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.

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

BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após a secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 1609-1615, mar./abr. 2008.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.

BORÉM, F. M.; SALVA, T. J. G.; SILVA, E. A. A. Anatomia e composição química do fruto e da semente do cafeeiro. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 21-40.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 22-29.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450 p.

BURMESTER, K.; EGGERS, R. Heat and mass transfer during the coffee drying process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 99, n. 4, p. 430-436, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café, safra 2014 segundo levantamento, maio/2014**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2014.

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

CORADI, P. C. et al. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, 2007.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

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

DALVI, L. P. **Qualidade dos cafés verde-cana e cereja preparados por via úmida**. 2011. 70 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

DALVI, L. P. et al. Qualidade de café nos estádios cereja e verde-cana via condutividade elétrica. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 410-414, 2013.

DONZELES, S. M. L. et al. Custos comparativos da secagem de café cereja descascado em dois terreiros secadores. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2007.

DURIGAN, R. H. A. et al. Análise semiótica de anúncios de propaganda de café. **Revista Eletrônica de Comunicação**, Franca, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2007.

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

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 7-16, 2011.

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

HERNÁNDEZ-DÍAZ, W. N. et al. Modeling heat and mass transfer during drying of green coffee beans using prolate spheroidal geometry. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 86, n. 1, p. 1-9, 2008.

ILLY, E. A. A saborosa complexidade do café. **Scientific American**, New York, v. 286, n. 6, p. 48-53, 2002.

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 53, n. 3, p. 1003-1010, 2013.

ISQUIERDO, E. P. et al. Quality of natural coffee subjected to different rest periods during the drying process. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 439-445, jul./ago. 2012.

KASHANINEJAD, M. et al. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

LEITE, R. A. et al. Qualidade tecnológica do café (*Coffea arabica* L.) pré-processado por “via seca” e “via úmida” avaliada por método químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 308-311, 1998.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: a systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 3rd ed. Long Beach: Speciality Coffee Association of America, 2001. 47 p.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 4th ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

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

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

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

MONTEIRO, M. A. M. **Caracterização da bebida de café (*Coffea arabica* L.)**: análise descritiva quantitativa, análise tempo-intensidade e testes afetivos. 2002. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

OCTAVANI, J. C.; BIAGI, J. D. Avaliação de qualidade e custos de secagem de café cereja descascado desmucilado, em secador horizontal rotativo, com utilização de lenha de eucalipto e gás liquefeito de petróleo. **Revista Ecosistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 29, n. 1, p. 27-32, 2004.

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

PABIS, S.; JAYAS, D. S.; CENKOWSKI, S. **Grain drying**: theory and practice. New York: J. Wiley, 1998. 303 p.

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

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

REINATO, C. H. R. et al. Qualidade do café secado em terrenos com diferentes pavimentações e espessuras de camada. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 223-237, 2012.

REIS, L. S. et al. LERCAFÉ: novo teste para estimar o potencial germinativo de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 9-16, 2010.

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

RESENDE, O. et al. Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terrenos de concreto e chão batido. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 171-178, 2007.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

RESENDE, O. et al. Qualidade do café conilon submetido à secagem em terreno híbrido e de concreto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 327-335, mar./abr. 2011.

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, MG, n. 6, p. 94-107, 2003. Especial café.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packing injected with CO₂. **Journal of Stored Products Research**, London, v. 47, n. 4, p. 341-348, 2011.

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

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, n. 1, p. 196-203, jan./fev. 2010.

SALAZAR, G. M. R. et al. Studio morfológico, anatômico y ultraestrutural del fruto de café *Coffea arabica* L. **Cenicafé**, Manizales, v. 45, n. 3, p. 93-105, 1994.

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

SILVA, J. S. et al. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. p. 417-500.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 278-285, 2013.

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

VIEIRA, R. D. et al. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, set. 2002.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

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

ZONTA, J. B. et al. LERCAFÉ test for the assessment of coffee seed quality during storage. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 37, n. 1, p. 140-146, 2009.

ZONTA, J. B. et al. Teste LERCAFÉ para sementes de cafeeiro com diferentes teores de água. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 17-23, 2010.

ZONTA, J. B. et al. Uso do teste Lercafé para a caracterização de danos em sementes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1601-1607, nov. 2008.

SEGUNDA PARTE

ARTIGOS

ARTIGO 1

**CINÉTICA DE SECAGEM DE CAFÉ NATURAL BENEFICIADO COM
ALTO TEOR DE ÁGUA**

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, propor um novo método de processamento e secagem e avaliar o comportamento dos grãos submetidos a este processo, por meio da taxa de redução de água e do ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem. Os frutos colhidos no estágio maduro foram divididos em três lotes. O primeiro foi seco à temperatura de 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11\pm 0,5\%$ em base úmida (b.u.), no grão. O segundo lote foi submetido à secagem na mesma temperatura, pelos períodos de 36, 48, 60 e 72 horas, que correspondem, respectivamente, aos teores de água de 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e $17\pm 2\%$ b.u., no grão. Após esses períodos, o café natural foi beneficiado e submetido à secagem contínua nas temperaturas de 35 ± 1 °C e 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11\pm 0,5\%$ b.u., no grão. O terceiro lote correspondeu à secagem do café descascado e desmucilado na temperatura de 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11\pm 0,5\%$ b.u., no grão. Aos dados experimentais da secagem foram ajustados dez modelos matemáticos utilizados para representação da secagem dos produtos agrícolas. Os modelos foram analisados por meio do coeficiente de determinação, do erro médio relativo, do erro médio estimado e da distribuição de resíduos. A perda de água dos grãos foi avaliada por meio da taxa de redução de água. Conclui-se que a taxa de redução de água é maior para a temperatura de secagem de 40 ± 1 °C, quando comparada a de 35 ± 1 °C e essa diferença é reduzida quando o teor de água inicial do café beneficiado diminui. O tempo total de secagem do café beneficiado com alto teor de água é expressivamente reduzido, quando comparado ao tempo de secagem completa do café natural, na temperatura de 40 °C. O modelo de Midilli descreve satisfatoriamente a cinética de secagem do café beneficiado e submetido à secagem, nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.

Palavras-chave: Ajuste de modelos. Taxa de secagem. Temperatura. *Coffea arabica* L.

ABSTRACT

The aim of this study was to propose a new method of coffee processing and drying and evaluate the behavior of coffee beans subjected to this process through the moisture reduction rate and fitting of different mathematical models to the experimental data of drying. Fruits harvested at a mature stage were divided up into three lots. The first was dried at a temperature of $40\pm 1^\circ\text{C}$ until reaching moisture content of $11\pm 0.5\%$ wet basis (w.b.), in the bean. The second lot was dried at the same temperature for the periods of 36, 48, 60, and 72 hours, which correspond to the moisture contents of 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 , and $17\pm 2\%$ w.b., in the bean, respectively. After these periods, the natural coffee was processed and subjected to continuous drying at the temperatures of $35\pm 1^\circ\text{C}$ and $40\pm 1^\circ\text{C}$ until reaching the moisture content of $11\pm 0.5\%$ w.b., in the bean. And the third lot corresponds to drying of pulped and semi-washed coffee at the temperature of $40\pm 1^\circ\text{C}$ until reaching the moisture content of $11\pm 0.5\%$ w.b., in the bean. Ten mathematical models, used to represent the drying of the agricultural products, were fitted to the experimental data from drying. The models were analyzed by the coefficient of determination, the mean relative error, the mean estimated error, and the distribution of residues. Water loss from the beans was evaluated by the moisture reduction rate. We conclude that the moisture reduction rate is greater for the drying temperature of $40\pm 1^\circ\text{C}$ when compared to $35\pm 1^\circ\text{C}$, and this difference is reduced when the initial moisture content of the processed coffee decreases. The total drying time of coffee processed with a high moisture content is significantly reduced when compared to the complete drying time of natural coffee at the temperature of 40°C . The Midilli model describes, in a satisfactory way, the drying kinetics of the coffee processed and subjected to drying at the temperatures of 35 ± 1 and $40\pm 1^\circ\text{C}$.

Keywords: Fitting of models. Drying rate. Temperature. *Coffea arabica* L.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade agrícola que vem sendo desenvolvida no Brasil e no mundo há vários séculos. Atualmente, o país é responsável não só pela maior produção mundial, mas também pelo maior volume de café exportado no mundo (SASAKI et al., 2013).

Os métodos envolvidos na fase pós-colheita (processamento, secagem e armazenamento) são vistos como cruciais, pois a manutenção da qualidade do café formada na lavoura depende do procedimento adotado nessas operações.

O café recém-colhido apresenta teor de água de, aproximadamente, 60% b.u. e desuniformidade em relação à maturação, o que o difere dos demais grãos cultivados em larga escala. Sendo assim, a secagem deve ser iniciada logo após a colheita, para reduzir, rapidamente, o alto teor de água dos frutos e evitar as fermentações indesejáveis que podem depreciar a qualidade do produto (FAVARIN et al., 2004; RESENDE et al., 2007; BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; RESENDE; SIQUEIRA; ARCANJO, 2009). Aliado a isso, a secagem é uma operação considerada crítica por propiciar estresses térmicos e danos mecânicos no produto, dependendo das condições de secagem (BORÉM et al., 2006; MARQUES et al., 2008; PALACIN et al., 2009).

A secagem do café pode ser realizada com o fruto na sua forma integral que dará origem ao conhecido café em coco ou natural e ao café em pergaminho “endocarpo”, que teve o exocarpo “casca” e parte do mesocarpo “mucilagem” removidos por um processo mecânico ou por meio de fermentação biológica (BORÉM, 2008).

Dentre as principais culturas agrícolas, o café é um dos poucos a serem secos de uma forma diferente daquela que é comercializada (grão). Isso porque os equipamentos disponíveis no mercado removem apenas o exocarpo e o mesocarpo do café, não sendo possível a retirada do endocarpo, pois o mesmo se

encontra aderido ao grão. Sendo assim, o beneficiamento do café é realizado somente quando o mesmo se encontra com o teor de água em torno de 11% b.u., ou seja, após a secagem. Esse processo exige maior gasto de energia, uma vez que é necessário remover a água presente no pericarpo (exocarpo, mesocarpo e endocarpo), além de este se transformar numa barreira física para a saída da água.

Nilnont et al. (2012) estudaram a difusividade efetiva da água nos cafés com e sem pergaminho, com teor de água inicial de 54,9% b.u., nas temperaturas de secagem de 40 °C, 50 °C e 60 °C, e observaram que, com a remoção do pergaminho, a difusividade efetiva da água aumenta cerca de 1.000 vezes, ou seja, a velocidade com que a água sai do grão é extremamente maior. Logo, a secagem do café é acelerada com a retirada do endocarpo e, conseqüentemente, o processo é realizado em um tempo menor. Mas, é extremamente importante que, durante a remoção das camadas externas do fruto, o endosperma não sofra danos. Aliado a isso, é necessário também estabelecer a temperatura de secagem dos grãos, uma vez que as recomendações técnicas restringem-se somente a frutos e café em pergaminho.

A possibilidade da secagem do café em grão pode ser considerada uma inovação tecnológica e, por este motivo, necessita de aprofundamento sobre o processo de secagem. O ajuste de modelos matemáticos à secagem dos produtos agrícolas permite predizer o comportamento dos mesmos durante o processo de remoção de água e, dessa forma, reduzir o tempo e os custos com trabalhos práticos de secagem, que visam ao desenvolvimento de equipamentos para esta etapa (CORRÊA et al., 2007, 2010; MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002; RESENDE et al., 2007, 2010a; SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

Numerosos modelos matemáticos têm sido propostos para descrever a cinética de secagem em camada fina de materiais biológicos. Esses modelos são constantemente aplicados no estudo da secagem de diversos produtos agrícolas e

devido à complexidade e às diferentes formas de processamento, inúmeros trabalhos foram realizados com o objetivo de estudar a cinética de secagem do café em diversas condições de ar (ANDRADE; BORÉM; HARDOIM, 2003; CORRÊA et al., 2010; CORRÊA; RESENDE; RIBEIRO, 2006; GONELI et al., 2009; RESENDE et al., 2009, 2010a, 2010b).

Diante da importância da secagem para a manutenção da qualidade do café e da inexistência de trabalhos científicos que descrevam o processo de secagem do café em grão, realizou-se o presente trabalho, com o objetivo de avaliar a cinética de secagem dos grãos de café após o beneficiamento dos frutos com diferentes teores de água, bem como determinar a taxa de redução de água dos grãos nas duas temperaturas de secagem utilizadas (35 ± 1 e 40 ± 1 °C).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados frutos de café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon) colhidos no talhão Bugiu 2003, da fazenda do Sertão, (Latitude S22° 06' 7,6", Longitude W45° 12' 15,5" e altitude de 1.246 m), no município de Carmo de Minas, MG. Realizou-se a colheita manual dos frutos maduros. Após a colheita, os frutos foram submetidos à separação hidráulica, para a remoção de frutos de menor massa específica (secos, chochos, brocados e mal granados). Depois dessa etapa, procedeu-se à seleção manual para a retirada de alguns frutos imaturos e sobremaduros que não foram detectados durante a colheita e/ou não foram removidos no processo de separação hidráulica.

Logo após a seleção manual, o café foi separado em três lotes. O primeiro lote foi processado por via úmida, tendo o exocarpo e o mesocarpo removidos mecanicamente, por meio de descascador e desmucilador, apresentando o teor de água de 54,6% b.u. O segundo lote foi processado pela via seca, originando o café natural, com teor de água de 70,6% b.u. Em seguida, esses cafés foram submetidos à secagem mecânica com temperatura de 40 °C, até atingirem o teor de água de, aproximadamente, 11±0,5% b.u. O terceiro lote foi processado por via seca e os frutos foram submetidos à secagem mecânica a 40 °C, durante os períodos de 36, 48, 60 e 72 horas, que correspondem, respectivamente, aos teores de água de 36±2, 29±2, 22±2 e 17±2% b.u., no grão. Após esses períodos, o café natural foi beneficiado e os grãos foram submetidos à secagem contínua nas temperaturas de 35±1 °C e 40±1 °C, até atingirem o teor de água de 11±0,5% b.u. (Figura 1).

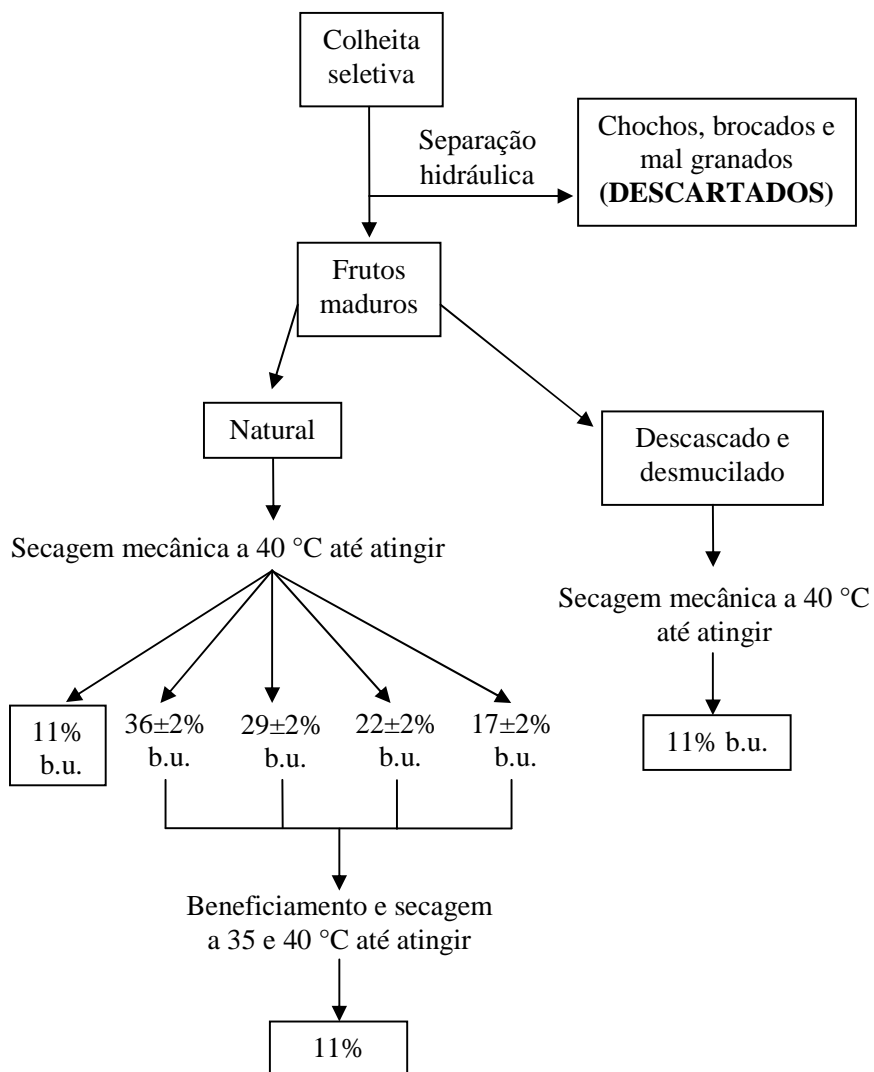


Figura 1 Fluxograma dos procedimentos do processamento e secagem do café.

A secagem foi realizada por convecção forçada em secadores de camada fixa (Figura 2), compostos por seis bandejas perfuradas de seção quadrada, com

lados iguais a 0,35 m e profundidade de 0,4 m, localizadas sobre um plenum para uniformização do fluxo de ar.



Figura 2 Secadores utilizados para a secagem do café.

O fluxo de ar no secador durante todo o processo de secagem do café natural e do beneficiado foi monitorado com o uso de um anemômetro de pás, sendo regulado e mantido em $24 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. O ajuste e o controle da temperatura foram realizados por meio de um controlador eletrônico e o monitoramento foi realizado com o auxílio de termômetros de mercúrio colocados no interior da massa de café. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por meio de termo-higrômetro, apresentando variação de $11,2 \text{ }^\circ\text{C}$ a $24,3 \text{ }^\circ\text{C}$ e $61,9\%$ a 100% , respectivamente, durante os dias em que se procedeu a secagem.

Um secador foi utilizado exclusivamente para a secagem do café desmucilado. Foram depositados 10 litros de produto em cada bandeja, aproximadamente 6,8 kg. A espessura da camada de café no início do processo de secagem foi de $8 \pm 1 \text{ cm}$. Outros três secadores iguais foram utilizados para a secagem do café natural. Foram depositados 20 litros de frutos em cada bandeja, aproximadamente 13 kg. A espessura da camada de frutos no início do processo

de secagem foi de 16 ± 1 cm. Parte do café natural foi seca até os grãos atingirem teor de água de $11 \pm 0,5\%$ b.u. Outra parte dos frutos foi submetida a 36, 48, 60 e 72 horas de secagem, na sua forma integral e, posteriormente, foi descascado usando máquina para beneficiamento de amostras CARMOMAQ (DC1) em uma única passagem. Em seguida, o café beneficiado (grão cru) foi submetido à secagem contínua nas temperaturas de 35 ± 1 °C e 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11 \pm 0,5\%$ b.u. Após o beneficiamento, a altura da camada dos grãos foi de aproximadamente 4 cm.

O teor de água do café natural foi determinado utilizando-se a estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, em três repetições (BRASIL, 2009). Já o teor de água do café beneficiado foi determinado pelo método de estufa, a 105 ± 1 °C, por 16 horas, conforme o padrão internacional da ISO 6673 (International Organization for Standardization – ISO, 1999). Os resultados foram expressos em porcentagem em base úmida (% b.u.).

A velocidade do ar, durante todo o processo de secagem do café natural e beneficiado, foi monitorada com o uso de um anemômetro de pás, sendo regulada e mantida em $0,37 \pm 0,03$ m.s⁻¹, conforme recomendações de Ribeiro et al, (2003).

A avaliação da secagem do produto foi obtida por meio da determinação da taxa de redução de água, de acordo com a expressão descrita por Corrêa, Machado e Andrade (2001),

$$TRA = \frac{Ma_0 - Ma_i}{Ms \cdot (t_i - t_0)} \quad (1)$$

em que

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

Ma₀ : massa de água total anterior (kg);

M_{a_i} : massa de água total atual (kg);
 M_s : matéria seca (kg);
 t_0 : tempo total de secagem anterior (h);
 t_i : tempo total de secagem atual (h).

Para a determinação das razões de teor de água do café beneficiado durante a secagem utilizou-se a seguinte expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (2)$$

em que

RX : razão de teor de água do produto, adimensional;
 X : teor de água do produto (kg de água kg de matéria seca⁻¹);
 X_i : teor de água inicial do produto (kg de água kg de matéria seca⁻¹);
 X_e : teor de água de equilíbrio do produto (kg de água kg de matéria seca⁻¹).

O teor de água de equilíbrio do café beneficiado em cada condição de secagem foi obtido por meio da equação de Harkins-Jura modificada (3), proposta por Afonso Junior (2001).

$$X_e = \left[\frac{\exp(a + b \cdot T)}{c - \ln(UR)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

em que

T : temperatura do ar de secagem, °C;
 UR : umidade relativa do ar de secagem (decimal);
 a, b, c : coeficiente do modelo;
 Coeficientes: ($a = -4,0779$; $b = 0,0336$; $c = -0,1434$)

Os valores de teor de água de equilíbrio estimados pela equação de Harkins-Jura modificada, para os grãos de café beneficiados com altos teores de água, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Teor de água equilíbrio (kg de água kg de matéria seca⁻¹) estimados pela equação de Harkins-Jura modificada para grãos de café.

Temperatura (°C)	Teor de água (% b.u.)			
	36±2	29±2	22±2	17±2
35±1	0,0727	0,0751	0,0769	0,07126
40±1	0,05543	0,0546	0,055	0,06052

Aos dados experimentais da secagem do café beneficiado foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos agrícolas.

Designação do modelo	Modelo	Equação
Dois termos ¹	$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(4)
Exponencial de dois termos ²	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(5)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(6)
Henderson e Pabis ⁴	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(7)
Midilli ⁵	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(8)
Newton ⁶	$RX = \exp(-k \cdot t)$	(9)
Page ⁷	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(10)
Thompson ⁸	$RX = \exp\{[-a \cdot (-a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0.5}] \cdot (2 \cdot b)^{-1}\}$	(11)
Verma ⁹	$RX = -a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k_1 \cdot t)$	(12)
Valcam ¹⁰	$RX = a + b \cdot t + c \cdot t^{1.5} + d \cdot t^2$	(13)

¹Henderson (1974); ²Sharaf-Eldee, Blaisdell e Hamdy (1980); ³Karathanos (1999); ⁴Henderson e Pabis (1961); ⁵Midilli, Kucuk e Yapar (2002); ⁶Lewis (1921); ⁷Page (1949); ⁸Thompson, Peart e Foster (1968); ⁹Verma et al. (1985); ¹⁰Siqueira, Resende e Chaves (2013).

em que

t : tempo de secagem, h;

k, k_0, k_1 : constantes de secagem h^{-1} ; e
 a, b, c, d, n : coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE), além da verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. O erro médio relativo e o desvio padrão da estimativa para cada um dos modelos foram calculados conforme as seguintes expressões:

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|RX_{obs} - RX_{est}|}{RX_{obs}} \quad (14)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (RX_{obs} - RX_{est})^2}{GLR}} \quad (15)$$

em que

RU_{obs} : razão de teor de água experimental;

RU_{est} : razão de teor de água estimado pelo modelo;

N: número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de coeficientes do modelo).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão apresentados os valores médios da taxa de redução de água dos grãos de café beneficiados e submetidos ao processo de secagem em duas condições de temperatura (35 ± 1 e 40 ± 1 °C). As maiores taxas de redução de água ocorreram no início do processo, sendo de 0,097; 0,055; 0,044 e 0,028 (kg de água kg de matéria seca⁻¹ hora⁻¹), para a temperatura de 40 °C e de 0,070; 0,044; 0,034 e 0,023 (kg de água kg de matéria seca⁻¹ hora⁻¹), para a temperatura de 35 ± 1 °C, para os teores de água de 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e $17\pm 2\%$ b.u., respectivamente. Posteriormente, a taxa de redução de água dos grãos apresenta redução, independentemente da temperatura de secagem e do momento do beneficiamento, devido à maior necessidade de energia para a evaporação da água que se encontra mais fortemente ligada. Vários autores verificaram o mesmo comportamento quando estudaram a secagem de diversos produtos agrícolas, como café descascado (RIBEIRO et al., 2003), feijão (RESENDE et al. 2008), feijão-adzuki (ALMEIDA et al., 2009), café cereja (RESENDE et al. 2010a) e pinhão-manso (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2012a).

Observa-se que a taxa de redução de água é sempre maior para a temperatura de 40 °C, decorrente da maior diferença entre a pressão parcial de vapor d'água do ar de secagem e do produto, fazendo com que a água seja removida com mais facilidade e rapidez.

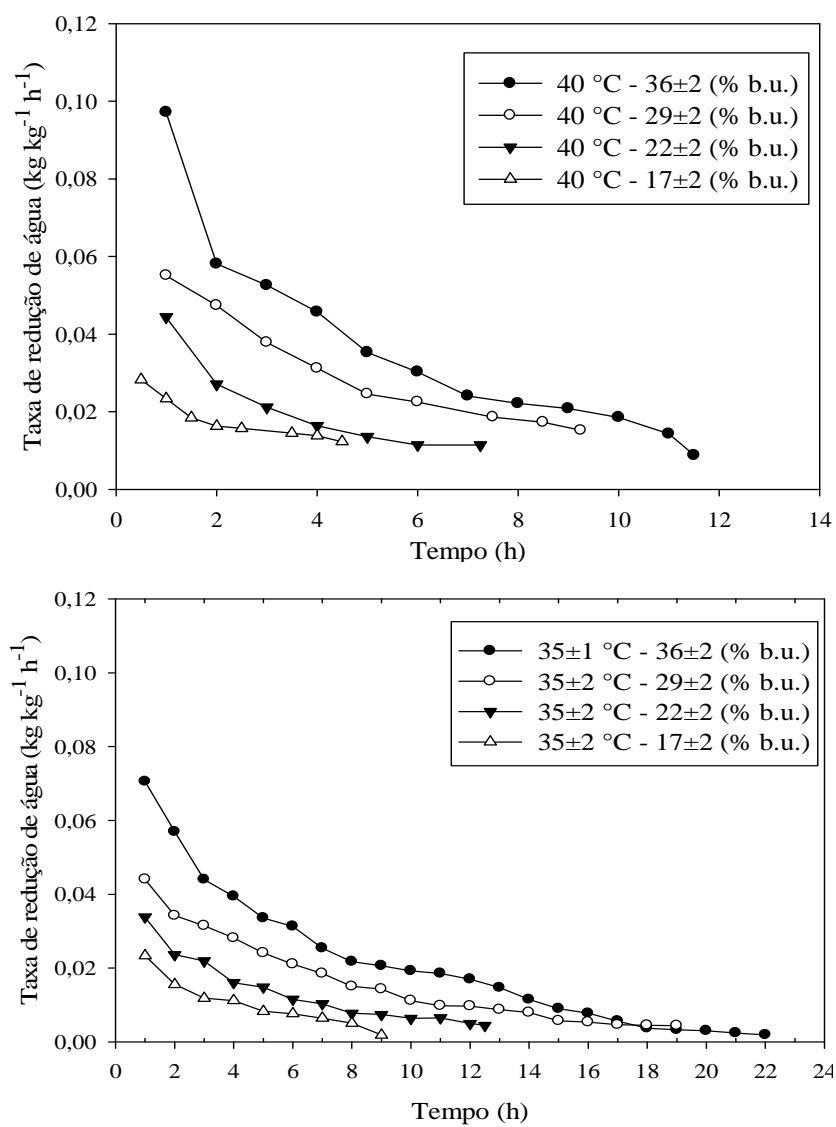


Figura 3 Taxa de redução de água dos grãos de café beneficiados com alto teor de água e submetidos à secagem em duas condições de ar.

Ainda na Figura 3 verifica-se que a maior taxa de redução de água observada na temperatura de secagem de 40 ± 1 °C promove menor tempo de secagem, comparativamente à temperatura de 35 ± 1 °C. Após o beneficiamento do café, somando-se o tempo de secagem até o beneficiamento e após o beneficiamento do café, têm-se 47,5; 57,25; 67,25 e 76,5 horas, para a temperatura de 40 ± 1 °C, e 58; 67; 72,5 e 81 horas, para a temperatura de 35 ± 1 °C, para os cafés beneficiados com 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e 17 ± 2 % b.u., respectivamente. Esses resultados significam aceleração para processo de secagem, uma vez que o tempo de secagem completa do café natural neste experimento foi de 108 horas. Já o tempo de secagem do café desmucilado foi de 32 horas. A grande diferença nos tempos de secagem entre o café natural e o desmucilado se justifica pelo maior teor de água inicial do café natural e presença do exocarpo e mesocarpo.

É importante ressaltar que, embora o tempo de secagem do café desmucilado seja inferior ao do café beneficiado com alto teor de água e do café seco na sua forma natural, a produção desse tipo de café requer a aquisição de equipamentos específicos para essa finalidade. Esses equipamentos utilizam água no seu funcionamento, o recurso natural de maior importância para a sobrevivência humana, e produzem resíduos (sólidos e líquidos) altamente impactantes ao meio ambiente.

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros estatísticos utilizados para a comparação entre os dez modelos empregados para a descrição da cinética de secagem dos grãos de café beneficiados em diferentes teores de água.

A escolha de um modelo para representar o fenômeno da secagem de um produto agrícola se baseia na análise conjunta dos parâmetros: coeficiente de determinação, desvio padrão da estimativa e erro médio relativo, bem como o comportamento da distribuição de resíduos.

Existem alguns preceitos a serem seguidos para escolha do modelo. Segundo Kashaninejad et al. (2007) e Madamba, Driscoll e Buckle (1996), coeficientes de determinação (R^2) superiores a 95% indicam uma representação satisfatória do processo de secagem. No entanto, os mesmos autores afirmam que o coeficiente de determinação, isoladamente, não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares. Draper e Smith (1998) afirmam que a capacidade de um modelo descrever com fidelidade determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do desvio padrão da estimativa (SE). Logo, quanto menor o valor do SE, melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais de razão de teor de água (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013). Para o erro médio relativo (P) que indica o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (KASHANINEJAD et al. 2007) são recomendados valores inferiores a 10%, para a recomendação do modelo (MOHAPATRA; RAO, 2005).

Verifica-se que os grãos de café, quando beneficiados, apresentam o comportamento típico da secagem, pois todos os modelos utilizados, com exceção do de Verma, atendem a todos os requisitos estatísticos para validação do modelo. O modelo de dois termos apresentou valores de erro médio relativo superiores a 10%, para as duas condições utilizadas. Observaram-se (Tabela 3) valores de P de 18,57% e 53,07%, para o café beneficiado com $36 \pm 2\%$ b.u., nas duas temperaturas utilizadas (35 ± 1 e 40 ± 1 °C), o que leva a crer que o não ajuste deste modelo está mais relacionado ao teor de água do grão que as temperaturas de secagem utilizadas. Os demais modelos, além de atenderem aos requisitos estatísticos, apresentam valores de coeficientes de determinação superiores a 97,7% e valores de erro médio relativo e desvio padrão da estimativa inferiores a 6,5% e 0,032, respectivamente, demonstrando ajuste satisfatório dos modelos aos valores médios experimentais de razão de umidade do café beneficiado submetido à secagem nas duas condições de temperatura.

Tabela 3 Parâmetros estatísticos obtidos para os modelos de secagem utilizados para descrever a cinética de secagem do café beneficiado.

Modelos	Parâmetros estatísticos	35±1 °C				40±1 °C			
		36±2 (% bu)	29±2 (% bu)	22±2 (% bu)	17±2 (% bu)	36±2 (% bu)	29±2 (% bu)	22±2 (% bu)	17±2 (% bu)
Dois termos	SE	0,0605	0,0031	0,0027	0,0071	0,1780	0,0076	0,0319	0,0062
	P	18,57	0,62	0,39	1,00	53,07	1,60	4,74	0,64
	R ²	96,01	99,99	99,99	99,91	62,03	99,94	97,91	99,92
Exponencial de dois termos	SE	0,0079	0,0030	0,0026	0,0063	0,0115	0,0073	0,0060	0,0081
	P	2,23	0,59	0,51	0,93	2,67	1,60	0,95	0,95
	R ²	99,93	99,99	99,99	99,92	99,83	99,94	99,92	99,84
Henderson e Pabis Modificado	SE	0,0075	0,0058	0,0052	0,0081	0,0076	0,0068	0,0025	0,0069
	P	3,00	1,38	0,99	1,22	2,06	1,31	0,39	0,82
	R ²	99,94	99,95	99,96	99,87	99,93	99,94	99,99	99,88
Henderson e Pabis	SE	0,0175	0,0186	0,0255	0,0315	0,0181	0,0071	0,0295	0,0093
	P	6,49	5,95	5,87	4,62	3,95	1,60	4,74	1,08
	R ²	99,64	99,48	98,90	97,75	99,55	99,94	97,91	99,76
Midilli	SE	0,0065	0,0037	0,0031	0,0057	0,0039	0,0071	0,0026	0,0059
	P	1,69	0,63	0,58	0,76	0,89	1,14	0,37	0,61
	R ²	99,96	99,98	99,99	99,95	99,98	99,95	99,99	99,94
Newton	SE	0,0131	0,0154	0,0207	0,0263	0,0115	0,0068	0,0208	0,0080
	P	5,07	4,49	4,27	3,52	1,69	1,48	2,89	0,95
	R ²	99,81	99,66	99,33	98,61	99,83	99,94	99,04	99,84
Page	SE	0,0052	0,0034	0,0031	0,0220	0,0045	0,0081	0,0023	0,0088
	P	1,40	0,54	0,40	2,16	0,82	1,33	0,30	0,64
	R ²	99,97	99,99	99,99	99,51	99,98	99,95	99,99	99,92
Thompson	SE	0,0081	0,0031	0,0028	0,0100	0,0187	0,0073	0,0043	0,0081
	P	2,33	0,65	0,49	1,28	3,95	1,60	0,61	0,96
	R ²	99,93	99,99	99,99	99,80	99,55	99,94	99,96	99,84
Verma	SE	0,0072	0,0163	0,0028	0,0075	0,0043	0,0073	0,0024	0,0094
	P	1,35	4,49	0,40	1,00	0,98	1,33	0,32	0,95
	R ²	99,95	99,66	99,99	99,91	99,98	99,95	99,99	99,84
Valcam	SE	0,0126	0,0129	0,0113	0,0080	0,0134	0,0082	0,0115	0,0079
	P	3,82	3,28	2,15	0,81	2,64	1,33	1,52	0,81
	R ²	99,83	99,79	99,83	99,90	99,80	99,93	99,75	99,89

Quando vários modelos representam de forma satisfatória o fenômeno da secagem, devem-se levar em consideração os valores dos parâmetros e a complexidade de cada modelo, para a sua recomendação. Os modelos que melhor atenderam aos requisitos estatísticos foram o de Midilli, Henderson e Pabis modificado, dois termos, Thompson e Page. Dentre estes, os de maior simplicidade são o de Page, que é tido como um modelo clássico e o de Midilli, ambos utilizados para descrever a cinética de secagem de vários produtos agrícolas. Logo, torna-se necessária a utilização de um componente auxiliar para escolha do modelo. A análise de distribuição dos resíduos tem sido constantemente utilizada de forma complementar aos parâmetros estatísticos na escolha do modelo. Esta análise, mesmo que subjetiva, fornece boa indicação do ajuste do modelo aos valores experimentais.

Segundo Goneli et al. (2011), um modelo é considerado aleatório se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero e também não formarem figuras definidas, não indicando tendenciosidade dos resultados. Se apresentar distribuição tendenciosa, o modelo é considerado inadequado para representar o fenômeno em questão.

Na Tabela 4 são apresentados o comportamento ou a tendência da distribuição de resíduos para os modelos estudados. Verifica-se que apenas o modelo de Midilli apresenta distribuição aleatória para todas as condições de secagem. Já o modelo de Henderson e Pabis modificado, o de dois termos e o Thompson e Page, em uma ou mais das condições estudadas, apresentam distribuição tendenciosa.

Tabela 4 Distribuição dos resíduos (A = aleatória; T = tendenciosa) para os dez modelos analisados, durante a secagem do café beneficiado com diversos teores de água em duas condições de temperatura.

Modelos	35±1 °C				40±1 °C			
	36±2	29±2	22±2	17±2	36±2	29±2	22±2	17±2
	(% b.u.)	(% b.u.)	(% b.u.)	(% b.u.)	(% b.u.)	(% b.u.)	(% b.u.)	(% b.u.)
Dois termos	A	T	A	T	A	A	A	T
Exponencial de dois	T	A	A	A	T	A	T	T
Henderson e Pabis	A	A	A	T	A	A	A	A
Henderson e Pabis	T	T	T	T	T	A	T	T
Midilli	A	A	A	A	A	A	A	A
Newton	T	T	T	T	T	A	T	T
Page	A	A	A	A	A	A	A	T
Thompson	T	A	A	A	T	A	T	T
Valcam	T	T	T	A	T	A	T	T
Verma	T	A	A	T	T	A	T	T

Na Figura 4 estão apresentadas as ilustrações da distribuição dos resíduos como exemplo de distribuição aleatória (para o modelo de Midilli) e tendenciosa (para o modelo de Verma), durante a secagem a 35±1 e 40±1 °C, dos grãos de café beneficiados com alto teor de água. Verifica-se que, nas duas condições, os valores dos resíduos proporcionados pelo modelo de Midilli estão próximos da linha horizontal que marca o ponto zero, sem apresentar um comportamento tendencioso, ao contrário do modelo de Verma, no qual os valores dos resíduos estão distantes da linha horizontal que marca o ponto zero, e apresentam comportamento tendencioso. Para a condição de 35±1 °C e 36±2% b.u., a “figura” formada se assemelha a uma parábola e, na condição de 40±1 °C e 36 horas, se assemelha a uma curva exponencial.

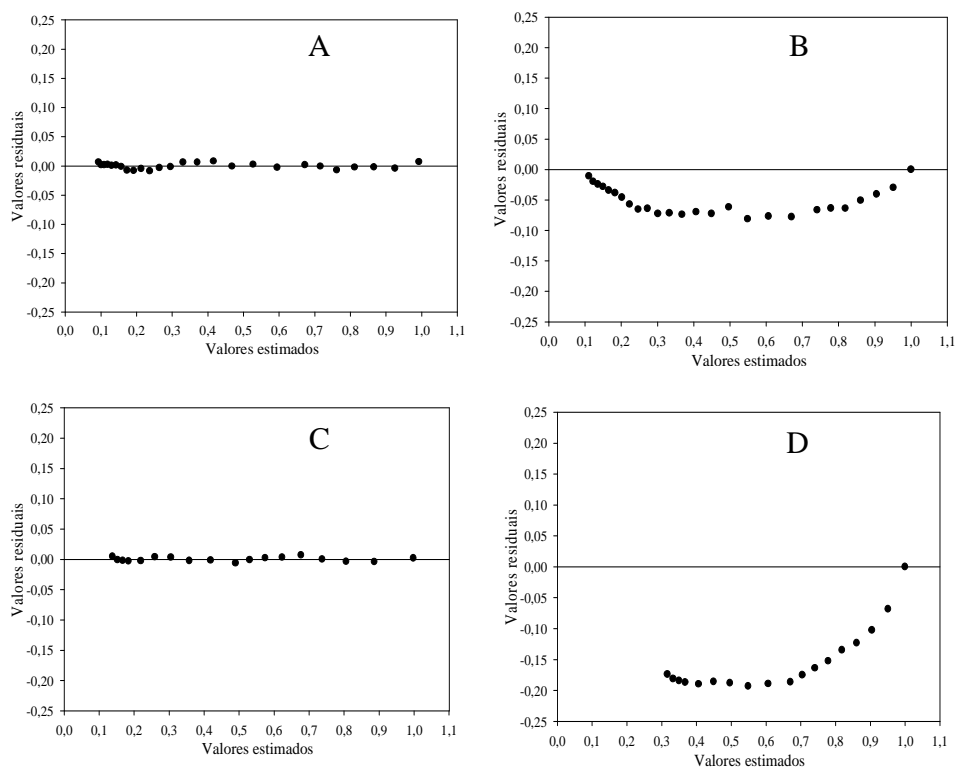


Figura 4 Ilustração da distribuição dos resíduos: “A” e “C” Aleatória para o modelo de Midilli; “B” e “D” tendenciosa para o modelo de Verma; para os grãos de café beneficiados com diferentes teores de água iniciais e submetidos à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.

Dentre os modelos utilizados neste experimento para descrever a cinética de secagem do café beneficiado com diferentes teores de água, o de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes, após uma análise conjunta dos valores do coeficiente de determinação, erro médio relativo, desvio padrão da estimativa e tendência de distribuição dos resíduos. Logo, o modelo de Midilli é recomendado para representar o processo de secagem dos grãos de café para diferentes condições de temperatura e teores de água iniciais.

Goneli et al. (2009) estudaram a cinética de secagem (40 , 50 e 60 °C) do café descascado e concluíram que o modelo de Midilli foi o mais adequado para

a representação do processo. Alves (2013), ao estudar a secagem do café natural para as temperaturas de 40 e 45 °C e diferentes fluxos de ar, também verificou que o modelo de Midilli pode ser utilizado para descrever o fenômeno. Verifica-se que o café beneficiado apresenta comportamento de secagem semelhante ao dos cafés em pergaminho e natural, para a faixa de temperatura estudada.

Além do café em suas diferentes formas de processamento, o modelo de Midilli também é recomendado para prever o fenômeno de secagem de outros produtos agrícolas, como feijão-vermelho (CORRÊA et al. 2007), feijão-adzuki (RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010) e grãos de pinhão-mansão (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2012b).

Na Tabela 5 estão apresentados os coeficientes do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem dos grãos de café. Verifica-se que a magnitude da constante de secagem “k”, que representa o efeito das condições externas de secagem (GONELI et al., 2009), tende a aumentar com a elevação da temperatura de secagem, embora tenha sido numericamente menor para a condição de 17±2% b.u. e 40±1 °C, quando comparado a 17±2% b.u. e 35±1 °C. Segundo Babalis e Belessiotis (2004) e Madamba, Driscoll e Buckle (1996), a constante de secagem “k” pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem para o período decrescente, indicando que a taxa de secagem se eleva com o aumento da temperatura.

Já o coeficiente “n” é menor para a temperatura de 40±1 °C, em relação à temperatura de 35±1 °C, com exceção da condição 29±2% b.u. Segundo Goneli et al. (2009), este coeficiente reflete a resistência interna do produto à secagem. Sendo assim, quanto maior a temperatura de secagem, menor a magnitude do coeficiente.

Tabela 5 Parâmetros do modelo de Midilli ajustados para as diferentes condições de secagem dos grãos de café.

Temperatura de secagem (°C)	Teor de água (% b.u.) no momento do beneficiamento	Coeficientes do modelo			
		a	k	n	b
35±1	36±2	0,9929	0,1376	0,9581	0,0010
	29±2	1,0021	0,1417	0,9360	0,0015
	22±2	1,0006	0,1759	0,8993	0,0030
	17±2	0,9988	0,1825	0,8984	0,0102
40±1	36±2	0,9979	0,2080	0,8481	-0,0046
	29±2	1,0051	0,1675	0,9869	-0,0017
	22±2	1,0009	0,2248	0,7998	-0,0007
	17±2	1,0003	0,1549	0,8028	-0,0323

Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados os comportamentos da razão de teor de água dos grãos de café beneficiados úmidos, estimado pelo modelo de Midilli, para as temperaturas de secagem de 35±1 e 40±1 °C. Verifica-se que o modelo de Midilli apresenta ajuste satisfatório aos valores experimentais, representando fielmente o comportamento e descrevendo o fenômeno da secagem dos grãos de café para as duas temperaturas utilizadas.

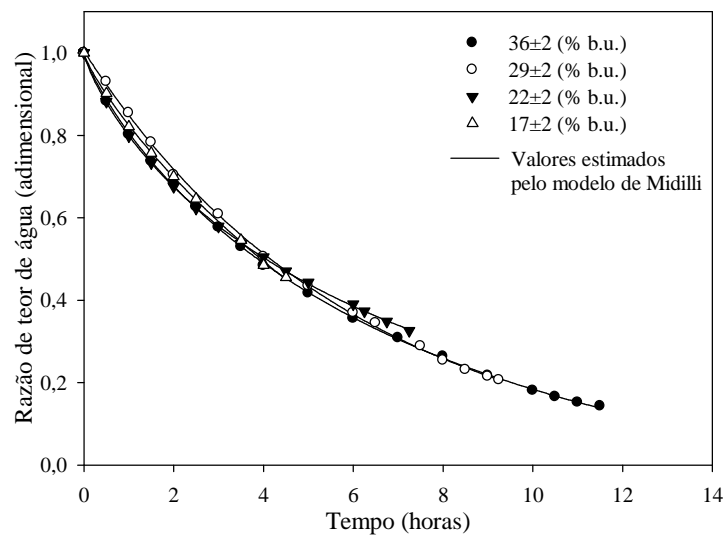


Figura 5 Valores da razão de teor de água experimentais e estimados pelo modelo de Midilli, para os grãos de café beneficiados com diferentes teores de água e submetidos à secagem na temperatura de 40 ± 1 °C.

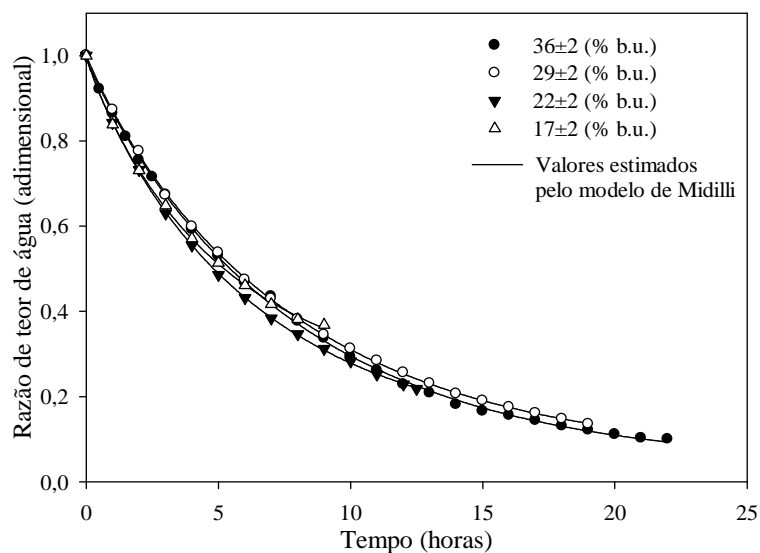


Figura 6 Valores da razão de teor de água experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para os grãos de café beneficiados com diferentes teores de água e submetidos à secagem na temperatura de 35 ± 1 °C.

4 CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que:

- a taxa de redução de água é maior para a temperatura de secagem de 40 ± 1 °C, quando comparada a de 35 ± 1 °C, e essa diferença é reduzida quando o teor de água inicial do café beneficiado diminui;
- o tempo total de secagem do café beneficiado com alto teor de água é expressivamente reduzido, quando comparado ao tempo de secagem completa do café natural na temperatura de 40 ± 1 °C;
- para os teores de água estudados, o modelo de Midilli descreve satisfatoriamente a cinética de secagem dos grãos de café beneficiados submetidos à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.

5 AGRADECIMENTOS

CAPES, FAPEMIG, CNPq e INCT-Café.

REFERÊNCIAS

AFONSO JUNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 399 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

ALMEIDA, D. P. et al. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 2, n. 1, p. 72-83, 2009.

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

ANDRADE, E. T.; BORÉM, F. M.; HARDOIM, P. R. Cinética de secagem do café cereja, boia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 7, p. 37-43, 2003. Especial café.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BORÉM, F. M. Processamento do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 127-158.

BORÉM, F. M. et al. 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, 2006.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, jan./fev. 2001.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Drying characteristics and kinetics of coffee berry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2006.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 1998. 712 p.

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

GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, n. 11, p. 64-73, 2009. Especial café.

GONELI, A. L. D. et al. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee**: determination of loss in mass at 105°C: ISO 6673. Geneva, 2003. 17 p.

KARATHANOS, V. T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 39, n. 4, p. 337-344, 1999.

KASHANINEJAD, M. et al. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

LEWIS, W. K. The drying of solid materials. **Journal Industrial Engineering**, Essex, v. 13, n. 5, p. 427-433, 1921.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

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

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

NILNONT, W. et al. Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 90, n. 2, p. 341-350, 2012.

PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of air drying of shelled corn in thin layers**. 1949. Thesis (Ph.D. in Mechanical Engineering) - Purdue University, Lafayette, 1949.

PALACIN, J. J. F. et al. Secagem combinada de café cereja descascado. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 244-258, 2009.

RESENDE, O. et al. Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 247-255, 2010a.

RESENDE, O. et al. Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 171-178, 2007.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática da secagem do café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e híbrido. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 153-160, 2010b.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

RESENDE, O.; SIQUEIRA, V. C.; ARCANJO, R. V. Influência do pavimento de terreiros na secagem e na qualidade do café conilon. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 5, p. 26-37, 2009.

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, MG, v. 27, n. 7, p. 94-107, 2003.

SASAKI, R. S. et al. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 9, p. 1605-1609, 2013.

SHARAF-ELDEEN, Y. I.; BLAISDELL, J. L.; HAMDY, M. Y. A model for ear corn drying. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 23, n. 5, p. 1261-1265, 1980.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 231-238, 2012a.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012b.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 278-285, 2013.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: a new model. **Transactions of ASAE**, Saint Joseph, v. 11, n. 4, p. 582-586, 1968.

VERMA, L. R. et al. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 28, n. 1, p. 296-301, 1985.

ARTIGO 2

**SECAGEM DO CAFÉ NATURAL BENEFICIADO COM ALTO TEOR
DE ÁGUA E SEUS IMPACTOS NA QUALIDADE**

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, propor um novo método de processamento secagem, a fim de reduzir o tempo deste processo e verificar os possíveis impactos que o mesmo pode proporcionar na qualidade do café. Os frutos colhidos no estágio maduro foram divididos em dois lotes. No primeiro lote, o fruto foi seco na temperatura de 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11\pm 0,5\%$ em base úmida (b.u.), no grão e, no segundo lote, o fruto foi seco na mesma temperatura, até atingir os teores de água de $36\pm 2\%$, $29\pm 2\%$, $22\pm 2\%$ e $17\pm 2\%$ b.u. no grão e, posteriormente, beneficiado e submetido à secagem contínua, nas temperaturas de 35 ± 1 °C e 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11\pm 0,5\%$ b.u., no grão. A qualidade do café foi avaliada por meio das análises de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, Lercafé, cor e sensorial. Concluiu-se que o método de processamento e secagem proposto reduziu em mais de 50% o tempo desta operação, quando comparado à secagem do café natural; o beneficiamento do café com alto teor de água, seguido de secagem artificial com ventilação forçada nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C, não compromete a qualidade do café, comparativamente ao método de secagem por via seca; o beneficiamento do café com $36\pm 2\%$ b.u. favorece a obtenção de bebida com melhor qualidade e os maiores teores de água de beneficiamento do fruto proporcionam coloração e luminosidade característica de café com boa qualidade.

Palavras-chave: Secagem. Beneficiamento. Qualidade.

ABSTRACT

The aim of this study was to propose a new method of drying and processing so as to reduce the time of this process and verify the possible impacts it may have on coffee quality. Fruits harvested at a mature stage were divided up into two lots. In the first lot, the fruit was dried at the temperature of $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ until reaching the moisture content of $11\pm 0.5\%$ wet basis (w.b.) in the bean; and in the second lot, the fruit was dried at the same temperature until reaching the moisture contents of 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 , and $17\pm 2\%$ w.b., in the bean and then processed and subjected to continuous drying at the temperatures of $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ and $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ until reaching the moisture content of $11\pm 0.5\%$ w.b. in the bean. Coffee quality was evaluated by analyses of electrical conductivity, potassium leaching, the Lercafé test, color, and sensory quality. This study led to the following conclusions: the processing and drying method proposed reduced the time of the operation by more than 50% when compared to the drying process of natural coffee. The processing of coffee with a high moisture content followed by artificial drying with forced air ventilation at the temperatures of 35 ± 1 and $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ does not compromise the quality of the coffee compared to the dry method of drying. Coffee processing at $36\pm 2\%$ w.b. helps to obtain a better quality beverage. Greater moisture contents at processing of the fruit make for coloring and brightness characteristic of good quality coffee.

Keywords: Drying. Processing. Quality.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a cafeicultura passou por diversas transformações, desde a introdução de variedades mais produtivas, com maior resistência a pragas e a doenças, maior tolerância à seca, até a oferta de sistemas de produção modernos com elevado padrão de proteção de cultivo. Ocorreram também avanços tecnológicos, com a introdução de sistemas de irrigação, manejo de plantas e colheita mecanizada. No Brasil, a cafeicultura ganhou “status” de atividade empresarial, ocupando extensas áreas agrícolas com elevada produtividade (CARVALHO et al., 2010; FARIA; SIQUEIRA, 2005; LANNA; REIS, 2012; SILVA et al., 2008, 2013).

Os avanços observados no setor de produção não foram acompanhados pela oferta de inovações tecnológicas capazes de assimilar os ganhos em rendimento, por exemplo, da colheita mecanizada. O aumento da produtividade somado à introdução da colheita mecanizada com elevado rendimento transformou o setor de processamento no principal gargalo da cadeia de produção do café. Na fase pós-colheita, a secagem representa a principal limitação no fluxo entre colheita e armazenamento (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008)

Comparativamente a outras commodities, como milho, soja e trigo, o café é o único grão agrícola que tem tempo de secagem superior a 40 horas e, em casos de secagem do café natural, esse tempo pode ultrapassar 200 horas, para proporcionar o teor de água seguro para o armazenamento (DONZELES et al., 2007; LACERDA FILHO; SILVA, 2006; RESENDE et al., 2007, 2011a; SIMÕES; FARONI; QUEIROZ, 2008).

Os longos períodos de secagem devem-se ao fato de o café ser colhido com elevados teores de água e à presença de pericarpo espesso, carnoso e muito

úmido. Além de expor os grãos e os frutos a diversos riscos que alteram a qualidade do café, esses longos períodos de secagem resultam em maior consumo de energia, mão de obra e, portanto, maior custo de processamento (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; PALACIN et al., 2009; RESENDE et al., 2007).

O aumento da velocidade de secagem do café pode ser obtido tanto a partir da elevação da temperatura de bulbo seco, da redução da umidade relativa do ar como também se elevando o fluxo de ar. Alves (2013) verificou que o aumento da temperatura de 40 para 45 °C no ar de secagem proporcionou redução de 35% e 20% no tempo de secagem para o café natural e despulpado, respectivamente. Isquierdo (2011), estudando a secagem mecânica do café natural, após pré-secagem em terreiro, verificou que, dependendo da temperatura de secagem, a redução da umidade relativa pode reduzir em até 26% o tempo necessário para que o café atinja o teor de água de 11% b.u.

Ribeiro et al. (2003), estudando a cinética de secagem de café maduro descascado, observaram que, independentemente da temperatura do ar de secagem (40, 45 e 50 °C), o aumento do fluxo de ar de 20 m³min⁻¹m⁻² para 30 m³min⁻¹m⁻² tem efeito na taxa de redução de água apenas na primeira hora de secagem, e que o fluxo de ar não teve influência na qualidade sensorial da bebida.

Tanto na redução da umidade relativa como na elevação da temperatura e no fluxo de ar de secagem, existem algumas limitações que fazem com que essas técnicas não sejam empregadas em larga escala. Os equipamentos utilizados para reduzir a umidade relativa são de custos elevados e, até o momento, não foram projetados para os modelos de secadores comerciais. O emprego de fluxos de ar elevados tem maior efeito quando a temperatura de secagem é baixa e a elevação da temperatura de secagem pode proporcionar danos térmicos e físicos ao produto e comprometer sua qualidade.

Os maiores ganhos na redução do tempo de secagem são relatados a partir da remoção de parte do pericarpo dos frutos de café. O tempo de secagem do café em pergaminho pode ser até 6,8 vezes mais rápido que o do café natural, dependendo da temperatura e do fluxo de ar de utilizado (Alves, 2013). No entanto, no Brasil, a maioria dos produtores ainda processa o fruto do café.

A eficiência e a eficácia da secagem não estão tão somente relacionadas a tempo, custos, equipamentos, uso de água, etc., mas também com a manutenção da qualidade do produto, fator primordial no momento da comercialização. Várias pesquisas provam que a secagem tem influência direta na qualidade do café (BORÉM et al., 2008; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; ISQUIERDO et al., 2011, 2012, 2013; KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010; REINATO et al., 2012; RESENDE et al., 2011b; ROSA et al., 2005).

Diante disso, torna-se imperativa a necessidade de se desenvolver novas tecnologias de processamento e secagem do café natural, capazes de atender à demanda de maior fluxo na etapa pós-colheita, elevando-se a eficiência de secagem sem, no entanto, comprometer a qualidade final do café.

A qualidade do café, normalmente, é avaliada por meio da prova de xícara ou análise sensorial, em que o sabor e o aroma são pontuados ou categorizados por pessoas treinadas e capacitadas para esta avaliação. No entanto, outras análises podem auxiliar na compreensão de alterações físicas e bioquímicas que ocorrem no grão após o processo de secagem.

As análises de cor, condutividade elétrica, lixiviação de potássio, Lercafé e porcentagem de germinação têm sido constantemente utilizadas por pesquisadores como parâmetros para avaliar a qualidade do café (BORÉM et al., 2008; BORÉM; REINATO, 2006; CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008; CORADI et al., 2007; ISQUIERDO et al., 2011, 2012; NOBRE et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2013; REINATO et al., 2007, 2012; RIBEIRO et al., 2011; SANTOS; CHALFOUN; PIMENTA, 2009). E em muitos casos, apresenta alta

correlação com os resultados obtidos na prova de xícara. Essas análises permitem visualizar e/ou quantificar danos mecânicos, alterações na coloração padrão dos grãos e a qualidade fisiológica dos mesmos, incluindo, nesta última, a integridade do sistema de membrana e o potencial fisiológico do grão.

Considerando os longos períodos de secagem do café e a importância desse processo para a fase pós-colheita dos produtos agrícolas, bem como a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para o processamento e a secagem, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de estudar a viabilidade técnica de secagem do café natural com remoção integral do pericarpo quando os grãos ainda apresentarem elevados teores de água e, com isso, reduzir o tempo total de secagem, verificando os possíveis impactos que esse processo pode proporcionar na qualidade do café.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados frutos de café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon) colhidos no talhão Bugiu 2003, da fazenda do Sertão, (Latitude S22° 06' 7,6", Longitude W45° 12' 15,5" e altitude de 1.246 m), no município de Carmo de Minas, MG. Realizou-se a colheita manual dos frutos maduros. Após a colheita, os frutos foram submetidos à separação hidráulica para a remoção de frutos de menor massa específica (secos, chochos, brocados e mal granados). Depois dessa etapa, procedeu-se à seleção manual para a retirada de alguns frutos imaturos e sobremaduros que não foram detectados durante a colheita e/ou não foram removidos no processo de separação hidráulica.

Logo após a seleção manual, o café foi separado em dois lotes. No primeiro lote, o fruto com teor de água inicial de 70,6% b.u. foi seco à temperatura de 40 °C, até atingir o teor de água de $11 \pm 0,5\%$ b.u. no grão e, no segundo lote, o fruto foi seco na mesma temperatura, pelos períodos de 36, 48, 60 e 72 horas, que correspondem, respectivamente, aos teores de água de 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e $17 \pm 2\%$ b.u. no grão. Após esses períodos, os frutos foram beneficiados e os grãos foram submetidos à secagem contínua nas temperaturas de 35 ± 1 °C e 40 ± 1 °C, até atingirem o teor de água de $11 \pm 0,5\%$ b.u., conforme descrito na Figura 1.

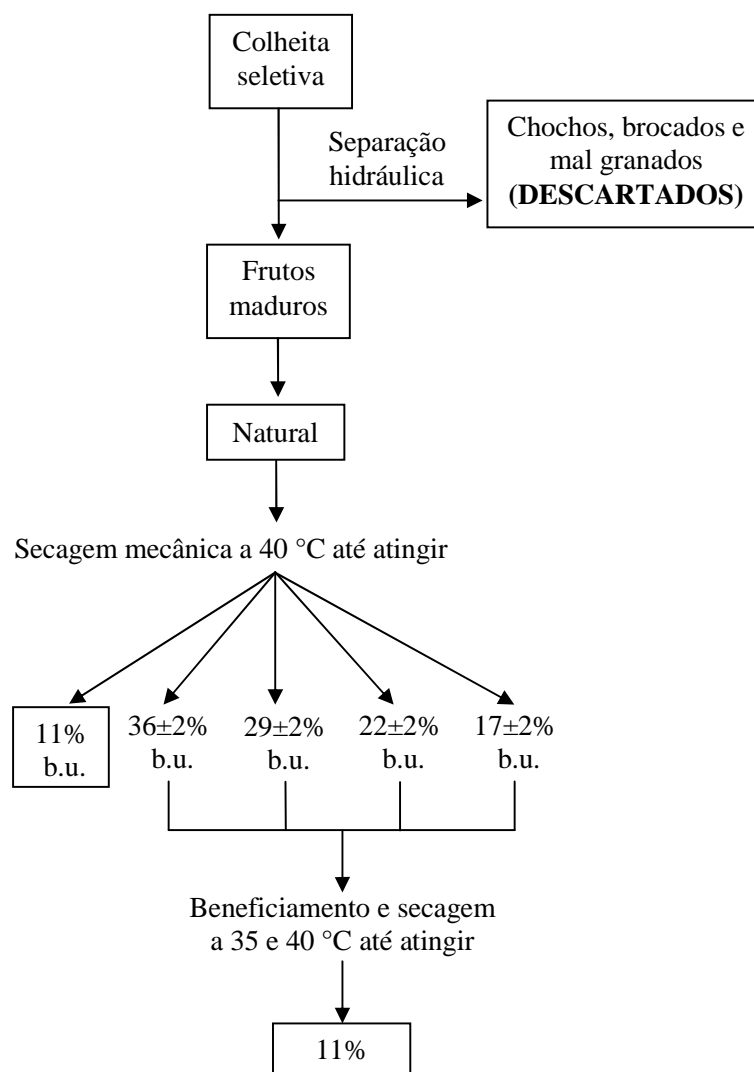


Figura 1 Fluxograma dos procedimentos do processamento e secagem do café.

A secagem foi realizada por convecção forçada, em secadores de camada fixa (Figura 2) compostos por seis bandejas perfuradas de seção

quadrada, com lados iguais a 0,35 m e profundidade de 0,4 m, localizadas sobre um plenum para uniformização do fluxo de ar.



Figura 2 Secadores utilizados para a secagem do café.

O fluxo de ar no secador, durante todo o processo de secagem do café natural e do beneficiado, foi monitorado com o uso de um anemômetro de pás, sendo regulado e mantido em $24 \text{ m}^3\text{min}^{-1}\text{m}^{-2}$, conforme recomendações de Ribeiro et al. (2003).

O ajuste e o controle da temperatura foram realizados por meio de um controlador eletrônico e monitoramento constante, com o auxílio de termômetros de mercúrio colocados no interior da massa de café.

Três secadores iguais foram utilizados para a secagem do café natural. Foram depositados 20 litros de frutos, em cada bandeja, aproximadamente 13 kg. A espessura da camada de frutos no início do processo de secagem foi de 16 ± 1 cm. Parte do café natural foi seca até os grãos atingirem o teor de água de $11 \pm 0,5\%$ b.u. Outra parte dos frutos foi submetida a 36, 48, 60 e 72 horas de secagem, na sua forma integral e, posteriormente, foi descascada, usando máquina para beneficiamento de amostras. Em seguida, o café beneficiado (grão

cru) foi submetido à secagem contínua, nas temperaturas de 35 ± 1 °C e 40 ± 1 °C, até atingir o teor de água de $11\pm 0,5\%$ b.u. Após o beneficiamento, a altura da camada dos grãos foi de aproximadamente 4 cm.

O teor de água do café natural foi determinado utilizando-se a estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 horas, em três repetições (BRASIL, 2009). Já o teor de água do café beneficiado foi determinado pelo método de estufa, a 105 ± 1 °C, por 16 horas, conforme o padrão internacional da ISO 6673 (International Organization for Standardization – ISO, 2003). Os resultados foram expressos em porcentagem em base úmida.

Após a secagem até $11\pm 0,5\%$ b.u. de teor de água, procedeu-se à separação dos grãos de café quanto à forma e ao tamanho. Para as análises foram utilizados somente os grãos chatos retidos nas peneiras 16 a 18/64 de polegada, eliminando-se os grãos chatos retidos nas demais peneiras, assim como os ovais ou “mocas” retidos nas peneiras com crivos oblongos. Na sequência, todos os defeitos foram retirados manualmente, visando à uniformização da matéria prima.

A análise sensorial foi realizada por três juízes certificados de cafés especiais (SCAA *certified cupping judges*).

Foi utilizado o protocolo de análise sensorial da Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA), de acordo com a metodologia proposta por Lingle (2011) para a avaliação sensorial de cafés especiais. Nesse método, os atributos são agrupados em duas categorias, sendo uma subjetiva, representada por fragrância/aroma, sabor, acidez, corpo, equilíbrio, finalização e impressão global, que são pontuados segundo sua qualidade em uma escala de 6 a 10 pontos, com intervalos de 0,25 ponto, e outra objetiva, representada por uniformidade, doçura e xícara limpa (ausência de defeitos). Os atributos objetivos foram pontuados em uma escala de 0 a 10 pontos, sendo atribuídos 2 pontos para cada xícara que apresentar normalidade quanto à uniformidade, à

doçura e à xícara limpa, avaliando-se 5 xícaras por amostra. A nota final é obtida pela soma das notas de cada atributo.

Foi utilizado o ponto de torra moderadamente leve, determinado visualmente pela coloração dos grãos, correspondente a 58 e 63 pontos, respectivamente, para grãos inteiros e grãos moídos, com tolerância de ± 1 ponto, conforme o sistema de classificação de cor, por meio de discos padronizados (*SCAA/Agtron Roast Color Classification System*). Foram torrados 100 g de grãos de cada amostra. Durante a torração, fatores que afetam o ponto e a curva de torra, como temperatura e tempo de torra, foram monitorados, respeitando-se a faixa de tempo entre 8 e 12 minutos. Todas as amostras foram torradas com antecedência mínima de 8 horas e máxima de 24 horas da degustação.

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

A condutividade elétrica (CE) dos grãos crus foi determinada pela metodologia proposta por Krzyzanowskiet, França Neto e Henning (1991). Foram utilizadas duas repetições de 50 grãos de cada amostra, as quais foram pesadas com resolução de 0,001 g e imersas em 75 mL de água destilada, no interior de copos plásticos de 200 mL de capacidade. Em seguida, esses recipientes foram levados à BOD com ventilação forçada regulada para 25 °C, por cinco horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da água de embebição em aparelho BEL W12D. Com as leituras obtidas foi calculada a condutividade elétrica, seguindo as recomendações dos autores.

A lixiviação de íons de potássio (LK) foi realizada nos grãos crus, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Após a leitura da condutividade elétrica, as soluções foram submetidas à determinação da quantidade de potássio lixiviado. A leitura foi realizada em fotômetro de chama Digimed NK-2002.

Com os dados obtidos, foi calculada a quantidade de potássio lixiviada, de acordo com o protocolo proposto pelo autor.

O teste do Lercafé foi realizado em três repetições de 25 grãos de cada amostra, seguindo as recomendações de Reiset al. (2010). Os grãos foram submersos em 100 mL de hipoclorito de sódio, a 5%, por uma hora. Para garantir o contato dos grãos com a solução, utilizou-se um telado plástico próprio das caixas gerbox, evitando, assim, que os mesmos flutuassem. Posteriormente, as gerbox foram tampadas e mantidas em câmara do tipo BOD, sob temperatura constante de 25 °C, durante 6 horas. Em seguida, os grãos foram lavados para a retirada do excesso do produto e imersos em água destilada por 40 minutos.

Após a exposição ao hipoclorito de sódio a 5% e posterior lavagem, os grãos foram dispostos sobre bancada para contagem, caracterização e avaliação dos aspectos visuais dos grãos. A avaliação visual foi realizada de acordo com a coloração do endosperma proporcionalmente à área superficial dos grãos.

A cor dos grãos crus de café foi determinada em colorímetro Minolta modelo CR 300, por leitura direta das coordenadas “L”, “A”, “B”, empregando o sistema Hunter de cor (Figura 3), conforme descrito por Nobre (2005). A coordenada “L” mede a luminosidade (cores escuras e claras), a coordenada “A” mede a cromaticidade (cores esverdeada e avermelhada) e a coordenada “B” mede a saturação (cores azulada e amarelada). As amostras foram colocadas em placas de Petri e, para cada repetição, foram realizadas cinco leituras nos quatro pontos cardeais da placa e uma no ponto central.

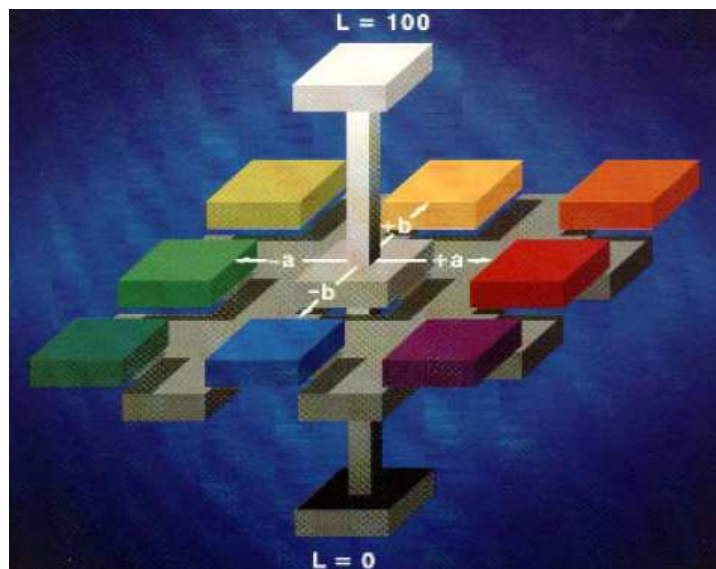


Figura 3 Representação do sólido de Hunter.

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial diferenciado de $4 \times 2 + 1$, sendo quatro teores de água no beneficiamento (36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e $17 \pm 2\%$ b.u.), duas temperaturas de secagem do café beneficiado (35 ± 1 e 40 ± 1 °C) e um tratamento controle (secagem completa do café natural na temperatura de 40 ± 1 °C, sem beneficiar o café), em três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Os cafés beneficiados com altos teores de água foram comparados com os cafés submetidos à secagem contínua (tratamento controle), pelo teste de Dunnett, a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tempos médios de secagem dos grãos nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C após o beneficiamento dos frutos com teores de água de 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e 17 ± 2 % b.u. são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Tempo de secagem (horas) dos grãos após o beneficiamento com diferentes teores de água e secagem em duas condições de temperatura.

Temperatura (°C)	Teor de água de beneficiamento (% b.u.)			
	36±2	29±2	22±2	17±2
40±1	11,5	9,25	7,25	4,25
35±1	22	19	12,5	9

Considerando os tempos de secagem dos frutos de 36, 48, 60 e 72 horas, que correspondem, respectivamente, aos teores de água de 36 ± 2 , 29 ± 2 , 22 ± 2 e 17 ± 2 % b.u. no grão, tem-se o tempo total necessário para que os grãos atingissem o teor de água de $11\pm 0,5$ % b.u. de 47,5; 57,25; 67,25 e 76,5 horas, para a temperatura de 40 ± 1 °C e 58; 67; 72,5 e 81 horas, para a temperatura de 35 ± 1 °C. Já a secagem do café natural, que teve início quando o mesmo se encontrava com o teor de água de 70,6% b.u., foi completada com o tempo de 108 horas.

Comparando-se o tempo de secagem dos cafés beneficiados com o do café natural, observa-se que a maior redução (56%) ocorreu quando o café foi beneficiado com 36 ± 2 % b.u. e submetido à secagem na temperatura de 40 ± 1 °C.

É importante ressaltar que o beneficiamento do café o deixa com características morfológicas e/ou físicas similares às dos demais produtos agrícolas, como soja, feijão, trigo, etc. Logo, existe a possibilidade de utilizar outros tipos de secadores já empregados na secagem desses produtos e não restringir a secagem do café somente aos secadores tradicionais (camada fixa, rotativo e fluxo cruzado).

Na Tabela 2 encontra-se o resumo da análise de variância para todas as variáveis analisadas. Verifica-se que o fator temperatura de secagem não proporcionou alterações em nenhuma das avaliações. Já o teor de água no momento do beneficiamento provocou mudanças na percepção sensorial da bebida do café, assim como nas avaliações de cor (coordenadas “A” e “B” e luminosidade). A interação entre a temperatura de secagem com o teor de água do café ao ser beneficiado apresenta efeito somente para as avaliações de cor, assim como o resultado do efeito dessa interação, juntamente com o tratamento controle (secagem completa do café natural).

Tabela 2 Resumo da análise de variância para condutividade elétrica (CE), lixiviação de potássio (LK), Lercafé, nota sensorial, coordenada “A” (Coord“A”), coordenada “B” (Coord“B”) e luminosidade (Lum) dos grãos de cafés, após diferentes métodos de processamento e secagem.

Fonte de variação	CE	LK	Lercafé	Sensorial	Coord“A”	Coord“B”	Lum
	F _{calc}	F _{calc}	F _{calc}	F _{calc}	F _{calc}	F _{calc}	F _{calc}
Temperatura	0,013 ^{ns}	0,025 ^{ns}	1,066 ^{ns}	1,933 ^{ns}	1,623 ^{ns}	3,034 ^{ns}	3,522 ^{ns}
Teor de água de beneficiamento	0,354 ^{ns}	1,710 ^{ns}	0,643 ^{ns}	5,694 ^{**}	98,99 ^{**}	25,611 ^{**}	87,692 ^{**}
Fatorial (Temperatura x Teor de água)	0,248 ^{ns}	1,058 ^{ns}	1,806 ^{ns}	2,190 ^{ns}	4,289 [*]	3,957 [*]	3,364 [*]
Fatorial x Controle	4,249 ^{ns}	2,376 ^{ns}	1,415 ^{ns}	0,024 ^{ns}	75,241 ^{**}	9,224 ^{**}	149,361 ^{**}
CV (%)	19,2	19,7	15,8	0,8	9,9	4,9	6,4

^{**} Significativo, a 1%, pelo teste F.

^{*} Significativo, a 5%, pelo teste F.

^{ns} Não significativo.

Controle: secagem completa do café natural na temperatura de 40 °C, sem beneficiá-lo.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das análises de condutividade elétrica, lixiviação de potássio, Lercafé, nota sensorial, coordenada “A”, coordenada “B” e luminosidade, para o café beneficiado com altos teores de água e submetido à secagem nas temperaturas de 35±1 e 40±1 °C, comparativamente aos cafés submetidos à secagem completa na sua forma natural (tratamento controle).

Tabela 3 Condutividade elétrica (CE), lixiviação de potássio (LK), Lercafé, análise sensorial, coordenada “A” (Coord“A”), coordenada “B” (Coord“B”) e luminosidade dos grãos de café submetidos à secagem após o beneficiamento, comparativamente a secagem do café natural.

Tratamentos	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	LK (ppm)	Lercafé (%)	Sensorial	Coord“A”	Coord“B”	Luminosidade
35±1/36±2	12,039	23,103	75,407	85,611	2,396*	24,679*	19,049*
35±1/29±2	11,390	23,368	71,414	84,555	1,444*	19,461	27,553*
35±1/22±2	11,861	20,214	66,370	85,833	1,091	19,460	29,016*
35±1/17±2	12,944	22,147	60,559	84,611	0,834	18,674	40,472
40±1/36±2	13,242	26,926	66,734	86,111	1,684*	22,702*	22,355*
40±1/29±2	11,216	18,462	55,852	84,472	2,007*	23,908*	20,589*
40±1/22±2	12,362	18,886	62,068	84,333	1,085	20,782	30,600
40±1/17±2	11,860	23,403	71,703	84,111	0,783	20,002	33,304
Controle	15,140	26,253	58,748	84,889	0,673	19,320	43,046

Controle: secagem completa do café natural na temperatura de 40 °C, sem beneficiar o café.

*média difere estatisticamente ($p > 0,05$), pelo teste de Dunnett, em relação ao tratamento controle.

Verifica-se que, no teste de análise de cor, alguns dos cafés beneficiados com altos teores de água apresentaram tonalidades de cor diferentes dos cafés secos na sua forma natural. Para a temperatura de secagem de 40±1 °C houve diferença nos valores das coordenadas “A” e “B” e luminosidade, para os dois teores de água mais alto (36±2 e 29±2% b.u.), comparativamente ao café natural. A temperatura de secagem de 35±1 °C promoveu comportamento semelhante, acrescentando-se o teor de água de 22±2% b.u., para luminosidade. No entanto, para essa temperatura, diferentemente da anterior (40±1 °C), o beneficiamento do café com teor de água de 29±2% b.u. não promoveu mudanças nas colorações azuladas e amareladas, quando comparadas às do café natural.

É importante salientar que maiores valores das coordenadas “A” e “B” representam maior saturação das cores vermelho e amarelo, respectivamente e menores valores dessas coordenadas indicam maior saturação das cores verde e azul, respectivamente.

A diferença na luminosidade entre os cafés beneficiados com altos teores de água, comparativamente aos cafés processados por via seca com $11\pm 0,5\%$ b.u., foi evidente durante as avaliações. Quanto maior o teor de água do beneficiamento do café, maior era a diferença de tonalidade, sendo que os cafés beneficiados com alto teor de água apresentavam, ao final do processo de secagem, uma tonalidade mais escura, aspecto típico de café despulpado.

O resultado da interação entre teor de água e temperatura de secagem para a análise de cor é apresentado na Tabela 4. Não é possível observar comportamento claro para o mesmo teor de água em função das duas temperaturas de secagem utilizadas. Corrêa et al. (2002) verificaram que quanto maior a temperatura de secagem menor é a intensidade da cor verde para os cafés processados por via seca e via úmida. Entretanto, para a faixa de temperatura utilizada nesse experimento, foi possível observar esse comportamento apenas quando o café foi beneficiado com $36\pm 2\%$ b.u.

Quando se observa o resultado da variação do teor de água de beneficiamento para as duas temperaturas estudadas, nota-se que, de maneira geral, os valores das coordenadas “A” e “B” reduzem e os de luminosidade aumentam, quando o beneficiamento é realizado com o café já mais seco, indicando que o café ficou com uma coloração verde-azulada e com uma tonalidade clara, aspecto de café de boa qualidade (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 2003). O aumento da luminosidade é mais evidenciado na temperatura de 35 ± 1 °C, talvez favorecido pelo maior tempo de secagem após o beneficiamento.

Tabela 4 Coordenadas “A” e “B” e luminosidade dos cafés beneficiados com altos teores de água e submetidos a duas condições de secagem.

Variáveis analisadas	Temperatura (°C)	Teor de água (% b.u.)			
		36±2	29±2	22±2	17±2
Coordenada “A”	35±1	2,39 aA	1,44 aB	1,09 aB	0,83 aB
	40±1	1,68 bA	2,01 aA	1,08 aB	0,78 aB
Coordenada “B”	35±1	24,68 aA	19,46 bB	19,99 aB	18,67 aB
	40±1	22,70 aA	23,91 aA	20,78 aB	20,00 aB
Luminosidade	35±1	19,05 aC	27,55 aB	29,01 aB	40,47 aA
	40±1	22,35 aB	20,59 bB	30,60 aA	33,30 bA

Médias seguidas por letras minúsculas iguais dentro da coluna e letras maiúsculas iguais dentro da linha não diferem entre si ($P>0,05$), pelo teste de Scott-Knott.

A qualidade do café não apresentou diferenças significativas para as duas temperaturas utilizadas na secagem do café beneficiado (Tabela 2). Os valores médios das análises realizadas estão apresentados na Tabela 5.

Ao estudar a cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar, Isquierdo (2011) verificou que, para a secagem artificial com ventilação forçada, temperaturas de, no máximo, 40 ± 1 °C não prejudicam a qualidade do café. Pode-se dizer o mesmo no que se refere às temperaturas utilizadas para a secagem mecânica do café beneficiado. Essa informação é relevante, uma vez que os tempos de secagem são expressivamente reduzidos quando a secagem é realizada a 40 ± 1 °C, comparando-se com a temperatura de 35 ± 1 °C.

Tabela 5 Valores médios de condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), lixiviação de potássio (LK, ppm), Lercafé (%), nota sensorial, coordenada “A” (Coord“A”), coordenada “B” (Coord“B”) e luminosidade (Lum), para o café beneficiado com altos teores de água e submetido à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.

Temperatura	CE	LK	Lercafé	Sensorial	Coord“A”	Coord“B”	Lum
35 ± 1 °C	12,06	22,21	68,44	85,15	1,44	20,7	29,02
40 ± 1 °C	12,17	21,92	64,09	84,75	1,39	21,85	26,71

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios das análises utilizadas para determinar a qualidade do café submetido a duas temperaturas de secagem após o beneficiamento com diferentes teores de água. Observa-se que o teor de água do café durante o beneficiamento para posterior secagem não alterou os valores das análises de condutividade elétrica, lixiviação de potássio e Lercafé. Como essas análises representam a integridade física do grão e indicam o potencial fisiológico do mesmo, pode-se dizer que, para a faixa de teor de água estudada, os danos físicos e térmicos que ocorreram nos grãos durante o processo de secagem não foram de grande intensidade, a ponto de serem observados nesse tipo de análise, independentemente do teor de água de beneficiamento.

Esperava-se que o maior teor de água proporcionaria maiores danos aos grãos, uma vez que o grão estaria mais sensível ao beneficiamento, podendo haver danos mecânicos durante essa operação. Aliado a isso, maiores teores de água proporcionam maior taxa de secagem (GUIDA; VILELA 1996; ISQUIERDO et al., 2013; RESENDE et al., 2009), que podem ocasionar trincas internas ou microfissuras na estrutura do produto (KIRLEIS E STROSHINE, 1990). No entanto, essa hipótese não foi confirmada. É importante ressaltar que as análises foram feitas logo após a secagem, não sendo constatado nenhum dano imediato. Mas, esses possíveis danos decorrentes da operação de beneficiamento e da taxa de secagem podem surgir na forma de dano latente, durante o armazenamento.

Ao contrário do esperado, é possível verificar, na Tabela 6, que o café beneficiado com o teor de água mais alto ($36\pm 2\%$ b.u.) apresentou características sensoriais mais agradáveis, resultando em uma maior pontuação final, quando comparado à nota sensorial obtida na degustação dos cafés dos demais tratamentos. Durante a análise sensorial, os degustadores perceberam, na

bebida do café beneficiado com $36\pm 2\%$ b.u., aspectos típicos de café descascado e descreveram-no como um café de acidez mais agradável, melhor finalização e equilíbrio entre os atributos sensoriais.

Tabela 6 Condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), lixiviação de potássio (LK, ppm), Lercafé (%) e nota sensorial para o café beneficiado com altos teores de água e submetido à secagem nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C.

Teor de água (% b.u.)	CE	LK	Lercafé	Sensorial
36 ± 2	12,64	25,01	71,07	85,86 a
29 ± 2	11,30	20,91	63,63	84,51 b
22 ± 2	12,11	19,55	64,22	85,08 b
17 ± 2	12,40	22,77	66,13	84,36 b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais dentro da coluna não diferem entre si ($P>0,05$), pelo teste de Scott-Knott.

A maior pontuação na análise sensorial foi observada para o café beneficiado com $36\pm 2\%$ b.u. Vale salientar que esse teor de água de beneficiamento foi o que proporcionou o menor tempo total de secagem. Logo, com esse novo método de processamento e secagem, é possível reduzir, em mais de 50%, o tempo de secagem, comparativamente ao tempo gasto para a secagem do café na sua forma natural, sem que ocorra perda de qualidade do produto.

4 CONCLUSÕES

O método de processamento e secagem proposto reduziu em mais de 50% o tempo desta operação, quando comparado à secagem do café natural;

O beneficiamento do café com alto teor de água, seguido de secagem artificial com ventilação forçada nas temperaturas de 35 ± 1 e 40 ± 1 °C, não compromete a qualidade do café, comparativamente ao método de secagem por via seca;

O beneficiamento do café com $36\pm 2\%$ b.u. favorece a obtenção de bebida com melhor qualidade.

Os maiores teores de água de beneficiamento do fruto proporcionam coloração e luminosidade característica de café com boa qualidade.

5 AGRADECIMENTOS

CAPES, FAPEMIG, CNPq e INCT-Café

REFERÊNCIAS

- AFONSO JUNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Influência do tempo de armazenagem na cor dos grãos de café pré-processados por “via seca” e “via úmida”. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1268-1276, nov./dez. 2003.
- ALVES, G. E. **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após a secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 1609-1615, mar./abr. 2008.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R. Qualidade do café despulpado submetido a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 9, p. 25-31, 2006. Especial café.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395 p.
- CARVALHO, A. M. et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 269-275, mar. 2010.
- CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após diferentes tipos de secagem e armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2008.

CORADI, P. C. et al. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, 2007.

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

DONZELES, S. M. L. et al. Custos comparativos da secagem de café cereja descascado em dois terreiros secadores. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2007.

FARIA, R. T.; SIQUEIRA, R. Produtividade do cafeeiro e cultivos intercalares Sob diferentes regimes hídricos. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 583-590, 2005.

GUIDA, V. F. A. A.; VILELA, E. R. Influência do fluxo de ar e do período de descanso na secagem do café (*Coffea arabica* L.) despulpado em secador experimental de camada fixa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 232-237, mar./abr. 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee**: determination of loss in mass at 105°C: ISO 6673. Geneva, 2003. 17 p.

ISQUIERDO, E. P. **Cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar**. 2011. 138 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ISQUIERDO, E. P. et al. Drying kinetics and quality of natural coffee. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 53, n. 3, p. 1003-1010, 2013.

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

ISQUIERDO, E. P. et al. Quality of natural coffee subjected to different rest periods during the drying process. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 439-445, jul./ago. 2012.

KIRLEIS, A. W.; STROSHINE, R. L. Effects of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry-milling characteristics of yellow dent corn. **Cereal Chemistry**, Minnesota, v. 67, n. 6, p. 523-528, 1990.

KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food Chemistry**, Washington, v. 119, n. 2, p. 500-504, 2010.

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

LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S. Secagem de café em combinação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 671-678, 2006.

LANNA, G. B. M.; REIS, R. P. Influência da mecanização da colheita na viabilidade econômica-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 110-121, 2012.

LINGLE, T. R. **The coffee cupper's handbook**: systematic guide to the sensory evaluation of coffee's flavor. 4th ed. Long Beach: Specialty Coffee Association of America, 2011. 66 p.

NOBRE, G. W. **Alterações qualitativas do café cereja descascado durante o armazenamento**. 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

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

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

PALACIN, J. J. F. et al. Secagem combinada de café cereja descascado. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 244-258, 2009.

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

REINATO, C. H. R. 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, 2007.

REINATO, C. H. R. et al. Qualidade do café secado em terreiros com diferentes pavimentações e espessuras de camada. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 223-237, 2012.

REIS, L. S. et al. LERCAFÉ: novo teste para estimar o potencial germinativo de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 9-16, 2010.

RESENDE, O. et al. Comparação entre terreiros híbrido e de concreto na secagem do café conilon processado por via seca e úmida. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 169-177, 2011a.

RESENDE, O. et al. Influência do tipo de pavimento na secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e chão batido. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 171-178, 2007.

RESENDE, O. et al. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.

RESENDE, O. et al. Qualidade do café conilon submetido à secagem em terreiro híbrido e de concreto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 327-335, mar./abr. 2011b.

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, MG, v. 28, n. 7, p. 94-107, 2003.

RIBEIRO, F. C. et al. Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO₂. **Journal of Stored Products Research**, London, v. 47, n. 4, p. 341-348, 2011.

ROSA, S. D. V. F. et al. Effects of different drying rates on the physiological quality of *Coffea canephora* Pierre seeds. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 17, n. 2, p. 199-205, 2005.

SANTOS, M. A.; CHALFOUN, S. M.; PIMENTA, C. J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição: físico-química e química do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 213-218, jan./fev. 2009.

SILVA, A. C. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, 2008.

SILVA, F. C. et al. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 53-60, 2013.

SIMÕES, R. O.; FARONI, L. R. A.; QUEIROZ, D. M. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) em coco processados por via seca. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 139-146, 2008.