

SECAGEM COMBINADA DE CAFÉ CEREJA DESCASCADO

Juan Jose Fonseca Palacin¹, Adílio Flauzino de Lacerda Filho², Evandro de Castro Melo³, Eryl Cardoso Teixeira⁴

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar sistemas combinados para a secagem de café, realizando a pré-secagem em leito fixo, em secador de leira e com ar aquecido indiretamente (secador “híbrido”), bem como a complementação da secagem em silos secadores, mediante o emprego de ar na temperatura ambiente. Compararam-se os resultados com os da secagem em terreiro de cimento e com os de secagem completa em “terreiro híbrido”. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade do produto e o consumo específico de energia. Nos terreiros de cimento e no “híbrido” foram utilizados quatro lotes de 2,5 m³ de café cereja descascado e desmucilado. O silo secador tinha capacidade para 51,3 m³ e foi carregado em lotes, sucessivamente, cujos volumes eram de 4,8 m³. A umidade inicial do primeiro lote era de 25,0% e a do último, 18,0%. A vazão de ar do ventilador era de 58,0 m³ min⁻¹. Para avaliação comparativa dos sistemas, foram monitorados o teor de água e a massa específica aparente dos grãos, a temperatura e umidade relativa ambiente, a temperatura do ar de secagem e o consumo de combustível e de energia elétrica. O maior consumo de energia específica e o menor índice de qualidade do café foram obtidos no terreiro de cimento. Concluiu-se que a utilização do sistema de secagem combinada e do “terreiro híbrido”, se bem operado, pode preservar a qualidade original do café, além de demandar menos energia específica para a secagem.

Palavras-chave: Qualidade de café, sistemas de secagem, energia.

COMBINED DRYING OF DEHUSKED CHERRY COFFEE ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate a combined system for coffee drying, where the initial drying was carried out in a fixed bed, in rows, or with indirectly heated air (“hybrid dryer”), followed by complementary drying in silos with the use of air at ambient temperature. The results were compared with drying on cement terrace and complete drying in “hybrid terrace”. The specific objective of the study was to evaluate product quality and specific energy consumption. In the cement and hybrid terrace, four lots of 2.5 m³, dehusked cherry coffee were used. The drying silo of 51.3 m³ capacity was successively loaded in lots of 4.8 m³. The initial moisture content of the first lot was 25%, and that of the last 18%. The airflow was 58.0m³min⁻¹. For comparative evaluation of the systems, grain moisture content and apparent specific mass, temperature and ambient relative humidity, drying air temperature and fuel and electricity consumption were evaluated. The highest specific energy consumption and the lowest coffee quality index were obtained when the coffee was dried on cement terrace. It was concluded that the use of the combined drying system and “hybrid terrace” drying system, if well operated, can preserve the original coffee quality, besides demanding less specific energy for drying.

Keywords: Coffee quality, drying systems and energy.

Recebido para publicação em 09/10/2008. Aprovado em 20/03/2009

1 Doutor em Engenharia Agrícola pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV. E-mail: <fonsecaj1962@hotmail.com>.

2 Professor Associado II do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: <alacerda@ufv.br>.

3 Professor Associado II do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. E-mail: <evandro@ufv.br>.

4 Professor Titular do Departamento de Economia Rural da UFV. E-mail: <teixeira@ufv.br>.

INTRODUÇÃO

O café, como outros produtos agrícolas, possuem preços diferenciados em função da qualidade, apesar das “commodities” atenderem ao mercado nacional e internacional.

Fatores como variedades, condições edafoclimáticas, tratos culturais e de colheita são alguns dos atributos determinantes para a manutenção da qualidade dos frutos de café. Entretanto, as operações unitárias de pré-processamento poderão influenciar essa qualidade. Entre elas, a secagem é a operação considerada crítica por propiciar estresses térmicos, desenvolvimento de fungos indesejáveis, adição de odores de fumos e, ou de outros contaminantes nos frutos ou nos grãos, dependendo da técnica empregada na operação.

Conforme as primeiras estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a produção brasileira da safra 2007/2008 ficará entre 41,3 e 44,2 milhões de sacas (60kg) de café verde cru (BRASIL, 2008). Dessa produção, aproximadamente 76% é creditada ao café arábica.

Observa-se, hoje, que o mercado de cafés especiais apresenta incrementos contínuos de demanda não só pelo maior valor agregado, mas também pelo fato de, principalmente, os brasileiros estarem aprendendo a apreciar os cafés de bebidas finas, o que resultou no aumento do consumo *per capita* nacional. Tal constatação estimula o desenvolvimento de novos conceitos para melhorar as operações unitárias de pré-processamento e de processamento dos frutos e grãos, em que a higiene e os cuidados para reduzir, ou até mesmo evitarem danos mecânicos e térmicos, se tornaram objetivos específicos das operações de colheita e pós-colheita. Depreende-se que essa constatação não reduziu o volume comercial da “commoditie”, e melhorou, significativamente, a qualidade apresentada por esse café.

O café é um dos produtos com maior custo

de secagem não só pelo seu elevado teor inicial de água, mas também pelo fato de as características estruturais dos frutos e grãos estarem suscetíveis a danos que podem depreciar a qualidade do produto seco, diminuindo o seu valor comercial. Esse fato pode ocorrer devido ao desconhecimento técnico dos operadores, utilização de equipamentos inadequados e procedimentos errados durante as operações.

A secagem artificial em terreiro, além de demandar muito tempo para a realização do processo, tem desvantagens, como utilizar áreas nobres para a construção dos terreiros, excessiva mão-de-obra e, muitas vezes, expor o produto às condições climáticas adversas, o que favorecerá o desenvolvimento de fungos e de processos fermentativos que podem depreciar a qualidade do café (CAMPOS, 1998).

A secagem artificial, em secadores mecânicos, apresenta as vantagens de diminuir o tempo de secagem, viabilizá-la em regiões úmidas e em períodos de chuva, reduzir a influência das condições climáticas sobre a qualidade dos cafés e permitir a redução da área de terreiros e da mão-de-obra, apesar de exigir melhor qualificação profissional (FREIRE; MIGUEL, 1985).

Lacerda Filho (1986) recomendou, no caso da utilização de secadores de camada fixa, o revolvimento periódico da massa de grãos, com o objetivo de reduzir o gradiente de teor de água e temperatura, em intervalos regulares de tempo de 180 minutos. A temperatura do ar de secagem deve ser mantida entre 45 e 50 °C (para cafés descascados). No início da secagem, o alto teor de água dos grãos impede, devido à evaporação, o aumento rápido da temperatura da massa de café, mantendo-a mais baixa do que a do ar aquecido. Conforme ocorre a secagem (abaixo de 30% b.u.), as temperaturas do ar e do café tendem ao equilíbrio. Ao final, se o café for retirado quente do secador, a secagem pode ser encerrada quando os grãos contiverem de 13 a 13,5% (b.u.), considerando-se que a massa de grãos continua secando durante a armazenagem

e irá perder, posteriormente, entre um e dois pontos porcentuais, reduzindo o teor de água para 11,5 a 12,0% (b.u.), teor esse adequado para o armazenamento dos cafés arábicos, em ambiente natural.

O sistema de secagem em camada fixa, em leiras, denominado “terreiro híbrido”, é construído em alvenaria, equipado com um sistema de ventilação e um gerador de calor para fornecimento da energia complementar ao ar de secagem. Nesse sistema, o produto é enleirado sobre dutos de distribuição de ar, sendo revolvido em intervalos regulares de 180 minutos. Esse sistema diminui o tempo de secagem de 20 dias (tempo médio de secagem em terreiro convencional na Zona da Mata mineira) para dois a quatro dias. Se possuir dimensões de 4,0 m de largura e 16,0 m de comprimento, ele equivale, em capacidade de secagem, a um terreiro pavimentado de concreto de 600 a 700 m² (SILVA et al., 2001).

O processo de secagem em baixa temperatura é, normalmente, realizado em silo com fundo perfurado, em que o produto é seco e armazenado simultaneamente. O fluxo mínimo de ar recomendado e a espessura máxima da camada de grãos no silo dependem do teor inicial de água do produto e das condições do ambiente.

A equação 1, de Harkins-Jura, modificada por Afonso Junior (2001), utilizada para estimar as variações higroscópicas do café, leva em consideração o efeito da temperatura e da umidade relativa.

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

Com a finalidade de melhor representar o fenômeno, uma série de análises foi realizada por Afonso Junior (2001) para determinar um modelo matemático mais adequado para prever a propriedade avaliada. Dessas análises, resultou a equação 2.

$$U_e = (a + b \cdot T + c \cdot UR^d)^{-e} \quad (2)$$

em que

U_e = teor de água de equilíbrio dos grãos, decimal (b. s.);

T = Temperatura do produto, °C;

UR = umidade relativa do ar intergranular, decimal;

a, b, c, d, e = constantes que dependem do produto.

Hukill, citado por Pinto et al. (1991), desenvolveu um modelo matemático para representar o processo de secagem em camadas profundas. Nesse modelo, a umidade dos produtos em determinada posição da camada, após um tempo qualquer depois de iniciada a secagem, é obtida por meio da equação 3.

$$RU = \frac{2^D}{2^D + 2^Y - 1} \quad (3)$$

em que

RU = razão de umidade do produto, adimensional;

D = adimensional de profundidade, adimensional;

e

Y = adimensional de tempo, adimensional.

A razão de umidade é calculada pela equação 4.

$$RU = \frac{(U - U_e)}{(U_0 - U_e)} \quad (4)$$

em que

1. U = teor atual de água do produto, decimal (b. s.);

1. U_e = teor de água do produto em equilíbrio com as condições do ar de secagem, decimal (b. s.); e

U_0 = teor inicial de água do produto, decimal (b. s.).

Pela definição, a razão de umidade varia de 0 –

quando o produto atinge a umidade de equilíbrio, até 1 – quando o teor de água é o inicial.

O adimensional de tempo pode ser estimado pela equação 5.

$$Y = \frac{t}{H} \quad (5)$$

em que

2. Y = adimensional de tempo, adimensional;

1. H = tempo de meia-resposta, h; e
t = tempo após o início da secagem, h.

O tempo de meia-resposta é definido como o tempo necessário para que a razão de umidade seja reduzida para 50% do valor de referência, considerando-se as condições estabelecidas para a secagem.

Para café cereja descascado, o tempo de meia-resposta pode ser estimado pela equação 6.

$$H = e^{(2,413 - 0,016 \cdot U_0 + 0,003 \cdot T - 0,001 \cdot U_0 \cdot T)} \quad (6)$$

em que

U_0 = teor inicial de água dos frutos de café descascado e desmucilado, decimal (b s).

T = temperatura do ar de secagem, °C.

A equação do tempo de meia-resposta pode ser obtida por meio das equações empíricas de secagem em camada delgada. Essas equações geralmente são definidas em função da temperatura, da umidade relativa e do tempo, conforme a equação 7.

$$RU = f(T, UR, t) \quad (7)$$

em que

RU = razão de umidade, adimensional;

UR = umidade relativa, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

t = tempo após o início da secagem, h.

Por último, tem-se o fator de profundidade (D) que contém uma quantidade de matéria seca

(MS) e é determinado por meio das equações 8, 9 e 10, de balanço de energia, fazendo o tempo t igual ao tempo de meia-resposta H.

$$MS = \left[\frac{60 \cdot Q \cdot c_a \cdot (T - T_e) \cdot H}{v \cdot h_v (U_0 - U_e)} \right] \quad (8)$$

$$D = \frac{MS}{A_s \cdot W} \quad (9)$$

$$W = \frac{P}{1 + U_0} \quad (10)$$

em que

MS = massa de matéria seca, kg;

h_v = calor latente de vaporização, kJ/kg de água;

Q = vazão do ar de secagem, m³ min⁻¹;

c_a = calor específico do ar de secagem, kJ kg⁻¹ °C⁻¹;

U_e = teor de água em equilíbrio, decimal (b s);

T_e = temperatura de equilíbrio, °C;

A_s = área de secagem do silo, m²;

W = massa específica de matéria seca, kg m⁻³;

v = volume específico do ar, m³ kg⁻¹; e

P = massa específica aparente do produto, kg m⁻³;

U_0 = umidade inicial do produto, b s.

T = temperatura do produto em um determinado tempo, °C.

Entre as alternativas disponíveis para a secagem na fazenda, aquela que usa o ar natural ou pouco aquecido (baixa temperatura), em silos, tem significativa importância, por manter a qualidade dos grãos nos níveis requeridos pela indústria e, também, por reduzir o consumo da energia para o aquecimento do ar de secagem (SILVA et al., 2003).

Com base no exposto, com este trabalho, objetivou-se avaliar sistemas combinados para a

secagem de café, realizando a pré-secagem em leito fixo, em secador de leira, com ar aquecido (secador “híbrido”), e a complementação da secagem em silos secadores, com o emprego de ar na temperatura ambiente, bem como comparar os resultados com os da secagem em terreiro de cimento e em secador de leito fixo, em leiras.

Especificamente, objetivou-se avaliar a qualidade do produto e o consumo específico de energia.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma fazenda no Município de São Miguel do Anta, MG, localizada a uma altitude de 705 m. O clima da região, conforme informações de zoneamentos climáticos, é do tipo tropical de média altitude, considerado ideal para o cultivo do cafeeiro.

O experimento foi caracterizado por três tratamentos, realizando-se três testes por tratamento:

T1 – secagem completa do café cereja descascado e desmucilado em terreiro pavimentado com argamassa de cimento (testemunha);

T2 – secagem completa do café cereja descascado e desmucilado em secador de camada fixa, em leiras (secador “híbrido”); e

T3 – pré-secagem do café cereja descascado e desmucilado em secador de camada fixa, em leiras (máximo de 25% b.u.), e complementação da secagem (máximo de 12% b u) em camada fixa, em silos de alvenaria, com fundo perfurado, na temperatura ambiente.

No primeiro tratamento (T1), o café foi espalhado em camadas finas, com espessura máxima de 0,03 m, e revolvido continuamente durante o dia, observando-se a posição do sol, com o objetivo de evitar sombreamentos nas leiras. Após as 16 h, os grãos foram enleirados, formando-se leiras com espessura entre 0,08 e 0,10 m. Conforme ocorria a redução do teor de água dos grãos, a espessura da camada era aumentada para até 0,05 m, aproximadamente. Esse procedimento foi mantido até que os grãos atingissem o teor de água entre 11,5 e 12% b u.

No tratamento T2, a temperatura do ar de secagem foi de $43,0 \pm 2,5$ °C, e os grãos foram revolvidos manualmente em intervalos regulares de 2 h até atingirem o teor de água de $12 \pm 0,5\%$ b u. Para o aquecimento do ar de secagem, foi utilizada uma fornalha com aquecimento indireto do ar. O sistema era equipado com um ventilador centrífugo com vazão de ar de $58 \pm 1,7$ m³ min⁻¹ e acionado por um motor com potência de 3,68 kW (5,0 cv). Na Figura 1 ilustra esse sistema.



Figura 1 – Vista parcial do secador de camada fixa (a) em leiras (“híbrido”) e da fornalha (b).

No tratamento T3, na fase de pré-secagem, o teor de água dos grãos foi reduzido de 55 a 59% (b.u.) para 25% (b.u.). A temperatura do ar de secagem foi de $43,0 \pm 2,5$ °C, e os grãos foram revolvidos em intervalos regulares de 2 h. Na fase de complementação da secagem, cuja umidade foi reduzida para $12 \pm 0,5\%$ (b.u.), utilizaram-se dois silos, os quais possuíam sistema de ventilação com ar na temperatura ambiente. O sistema de ventilação era ligado quando a temperatura do ar ambiente variava entre 20 e 27 °C e a umidade relativa, entre 55 e 70%. Essa

condição do ambiente geralmente foi observada entre 9 e 17 h. Os silos foram construídos em alvenaria e concreto e tinham diâmetros de 3,90 m e altura de 4,30 m. Possuíam fundo de chapas perfuradas e sistema de ventilação com vazão de ar de $58 \pm 1,7$ m³ min⁻¹ e potência de 3,68 kW (5,0 cv).

Os silos foram carregados por camadas sucessivas, com espessura de 0,4 m, tendo a primeira camada o teor de água de 25% (b.u.) e a camada superior, 18% (b.u.). Por meio da Figura 2 ilustram-se os silos secadores.



Figura 2 – Vista parcial da construção de um silo (a) e do silo pronto (b).

A técnica de amostragem atendeu às recomendações contidas em *Regras Para Análise de Sementes* (BRASIL, 1992). As amostragens para determinação do teor de água e da massa específica foram realizadas durante a carga dos secadores: terreiro cimentado, terreiros secadores de leito fixo e silos secadores. Nos secadores, foram retiradas amostras em intervalos regulares de 4 h. Nos silos, a amostragem foi realizada em intervalos regulares de 12 h. A massa específica foi medida utilizando-se uma balança de peso hectolítrico, modelo Dallemole, porém com volume de 1 litro.

Foram utilizados dois métodos para monitorar o teor de água dos grãos. Pelo método indireto, empregou-se um equipamento digital eletrônico, cujo princípio de funcionamento era por capacitância elétrica, para leituras rápidas. Os resultados foram obtidos em estufa com circulação forçada de ar a 105 ± 3 °C, durante 24 h (BRASIL, 1992). Foram feitas três repetições por amostra, com massa

de, aproximadamente, 0,040 kg. Para tanto, subamostras foram acondicionadas em sacos de papel e estes, em sacos plásticos, sendo as medições realizadas no máximo 4 h depois de coletadas as amostras.

Para calcular a redução do teor de água do café secado nos silos, foi utilizado o modelo de simulação proposto por Hukill, citado por Pinto (1991), com o objetivo de obter uma orientação prévia das sucessivas camadas com umidades diferenciadas durante a carga. Não constituía objetivos, nesse trabalho, apresentar os resultados de simulação de secagem. As equações 1 a 10 foram empregadas para determinar as variáveis do modelo e as condições para efetuar a correta secagem combinada nos silos, com ar natural.

Para as medições da temperatura e da umidade relativa ambiente, foram instalados em um abrigo meteorológico, em uma área próxima da unidade experimental, um higrômetro e um psicrômetro

não aspirado, com divisão de escala de 1 °C, conforme os padrões técnicos recomendados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (MAPA).

Adicionalmente, no abrigo, foram instalados um sensor para a medição direta da umidade do ar e outro de temperatura ambiente, ambos ligados ao sistema de aquisição de dados que fornecia as leituras a cada 10 s, bem como as médias das leituras a cada minuto.

A temperatura do bulbo seco e do bulbo molhado do ar de secagem foram medidas e monitoradas utilizando-se um psicrômetro instalado no duto de saída do ventilador, próximo aos módulos onde foram depositados os grãos de café.

A umidade relativa do ar foi calculada por meio do programa computacional GRAPSI versão 5.1 (MELO, 2004), desenvolvido a partir de equações psicrométricas.

As temperaturas de secagem foram monitoradas por meio de um sistema de termometria, utilizando-se um sistema de aquisição de dados, cujas leituras eram feitas automaticamente em intervalos regulares de 10 s, o que resultou na obtenção de médias das leituras a cada minuto, com resolução de 0,1 °C. Foram empregados termopares tipo T.

O monitoramento das temperaturas de secagem, da mistura ar/grãos e da exaustão ocorreu nos dutos de distribuição de ar dos secadores (temperatura do ar de secagem), nos níveis inferior, médio e superior das leiras e a 0,03 m acima destas, para a exaustão do ar (Figura 3).

Nos silos, a temperatura foi monitorada por meio de um sistema de termometria instalado com sensores de cobre-constantan posicionados verticalmente no centro dos silos e eqüidistantes 0,4 m. No plenum foi utilizado fio cromel-alumel. Por meio da Figura 4, ilustra-se o posicionamento dos sensores.

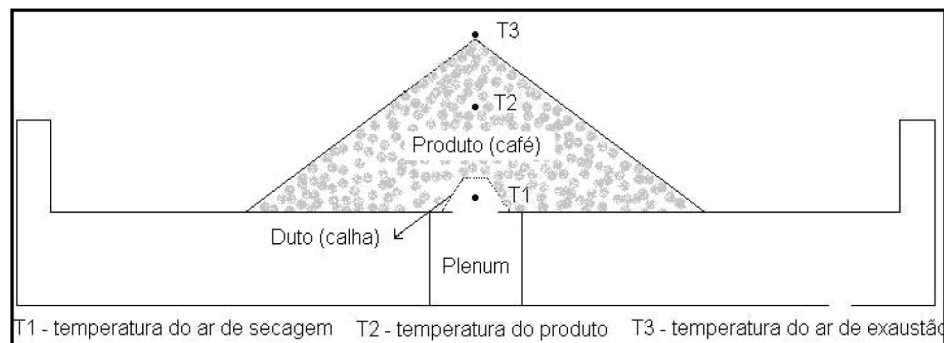


Figura 3 – Croqui: instalação dos sensores de temperatura no plenum e na massa de grãos no secador de leito fixo, em leira.

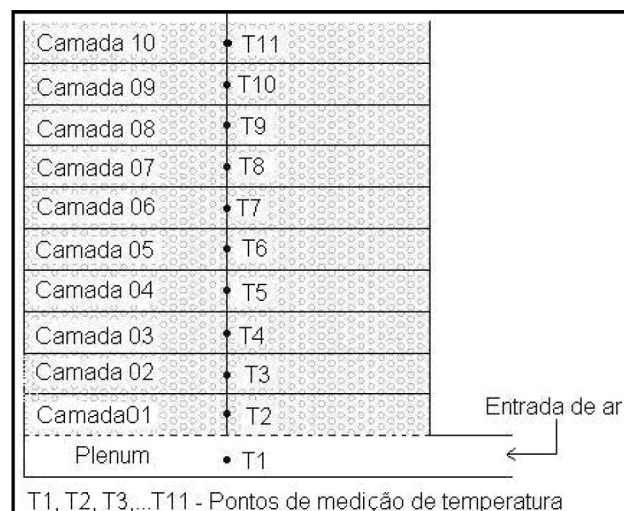


Figura 4 – Croqui: vista do posicionamento dos sensores para monitorar a temperatura da massa de grãos no silo secador.

A qualidade do café foi avaliada por classificadores e degustadores de uma empresa de comercialização de café da região. Os parâmetros de classificação atenderam ao conteúdo da Instrução Normativa nº 8, editada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, para classificação comercial de café.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de secagem observadas nos respectivos testes relativos aos quatro

tratamentos são apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6. No tratamento 1, em cada teste foram utilizados 2,5 m³ de café despulpado e desmucilado. O teor inicial de água do café cereja descascado e desmucilado variou entre $57,8 \pm 0,4$ e $58,3 \pm 0,4\%$ (b.u.) e o final, entre $11,8 \pm 0,4$ e $12,2 \pm 0,3\%$ (b.u.). O tempo de secagem oscilou entre 336 e 396 h. A grande variação do teor de água observado nas primeiras 48 h pode ter ocorrido em razão da água absorvida durante o processo de desmucilagem, a qual é facilmente evaporada no início da operação.

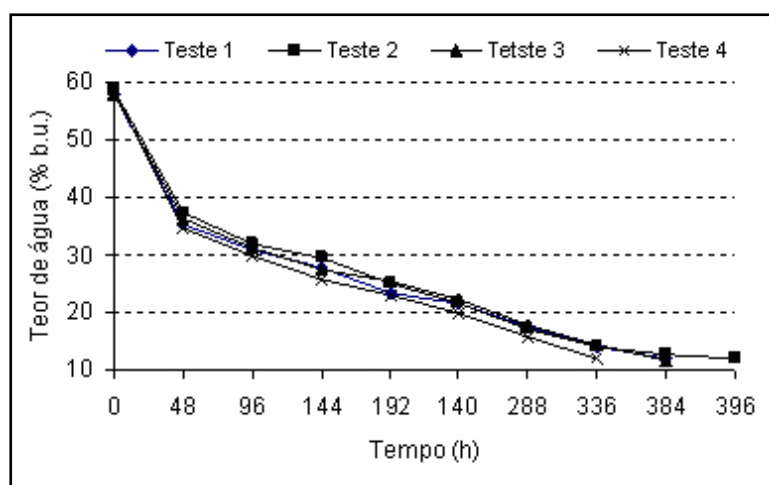


Figura 4 – Curvas de secagem obtidas durante a secagem do café em terreiro pavimentado com cimento.

As curvas de secagem relativas ao tratamento 2, secagem em leito fixo em leiras (secador híbrido), são apresentadas na Figura 5. Foram utilizados 2,5 m³ de café úmido em cada teste. O teor inicial de água variou entre $58 \pm 0,3$ e $55,4 \pm 0,3\%$ (b.u.) e o final, entre $11,8 \pm 0,4$ e $12,3 \pm 0,3\%$ (b.u.). O tempo de secagem oscilou entre 44 e 54 h, monitorando-se o teor de água dos grãos em intervalos regulares de 4 h, durante a operação. A massa de grãos foi revolvida em intervalos regulares de 2 h.

Por meio da Figura 6, observam-se as curvas de secagem do café, combinando a pré-secagem em terreiro híbrido, com aquecimento indireto do ar de secagem, e a complementação em silo secador com ar na temperatura ambiente. A capacidade estática do silo secador era de 51,7 m³. A secagem em silos foi realizada com

o carregamento em cargas sucessivas, cujas espessuras eram de 0,40 m por camada (Figura 4). Durante a carga, o teor inicial de água da primeira camada (inferior) foi de 25,0% (b.u.), o da segunda 23% (b.u.) e, assim, sucessivamente. Esse procedimento foi adotado de tal forma que sempre uma camada inferior determinava o teor de água da camada sobreposta, até que a última tivesse 18,0% (b.u.). Para tanto, utilizaram-se os recursos do modelo matemático de simulação de secagem em camada estática, proposto por Hukill, citado por Pinto (1991). O tempo necessário para realizar a pré-secagem variou entre 24 e 32 h e para a complementação da secagem, entre 528 e 576 h. Esse tempo correspondeu a 22 e 24 dias de operação, em que o sistema de ventilação era ligado entre as 9 e 17 h, aproximadamente.

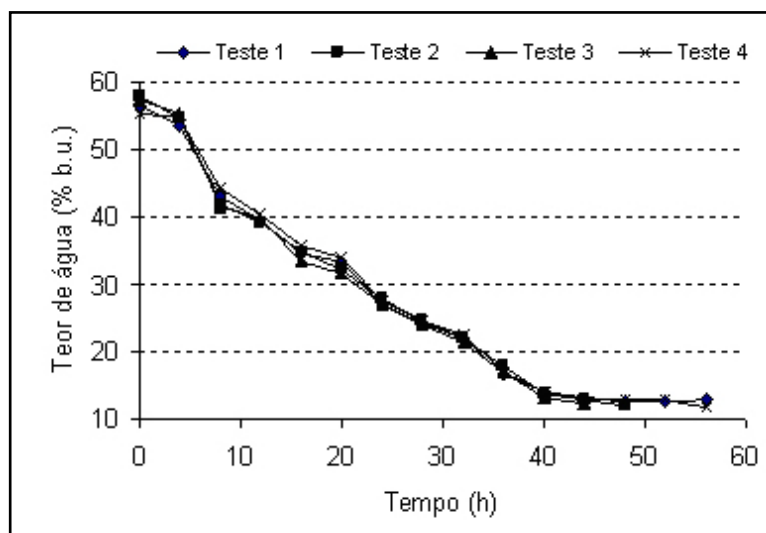


Figura 5 – Curvas de secagem do café cereja descascado e desmucilado, observadas durante a secagem em secador de leito fixo em leiras (terreiro híbrido).

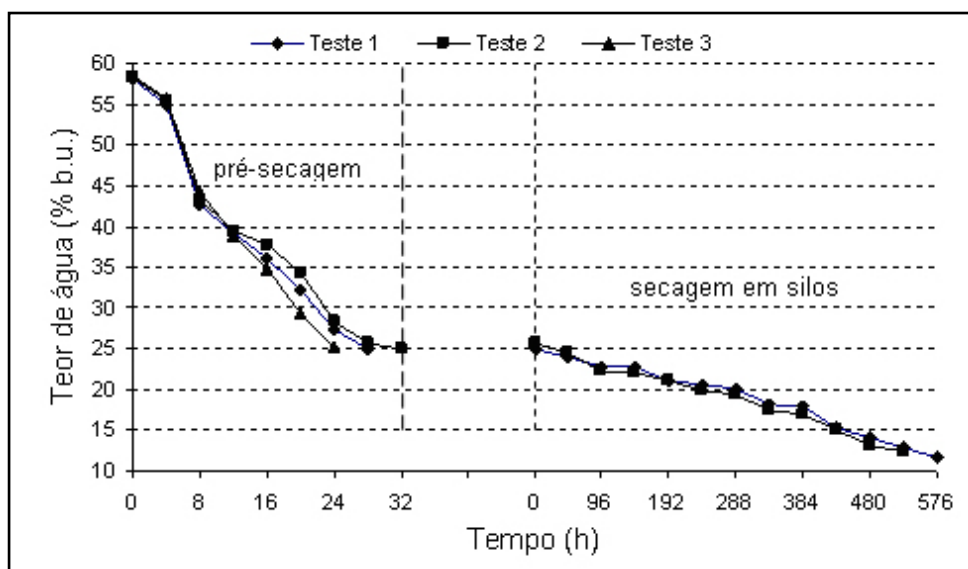


Figura 6 – Valores médios do teor de água durante a pré-secagem e a complementação da secagem combinada de café cereja descascado.

O teor inicial de água para a pré-secagem variou entre $57,1 \pm 0,3$ e $59,2 \pm 0,4\%$ (b.u.), sendo a operação concluída quando a umidade final atingiu valores entre $24,9 \pm 0,3$ e $25,3 \pm 0,4$ % (b.u.). A vazão específica de ar utilizada no secador de leito fixo em leiras (pré-secagem)

foi de $5,8 \text{ m}^3$ de ar $\text{min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ de grãos e potência de 3,68 kW. Nos silos secadores, os teores de água dos grãos observados nas camadas inferior e superior da massa, cuja espessura era de 4,3 m, foram de 11,3 e 12,2% b.u., respectivamente, no final da secagem. Quando foi colocada a

primeira camada, com espessura de 0,4 m, a vazão específica era de $10,82 \text{ m}^3$ de ar $\text{min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ de grãos. Ao realizar o carregamento com as sucessivas camadas, a vazão específica de ar foi progressivamente reduzida até o valor final de $1,14 \text{ m}^3$ de ar $\text{min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ de grãos, quando o silo se encontrava totalmente carregado. Conforme diminuía a vazão específica, reduzia-se o teor de água das camadas subsequentes até o valor

de 18,0% b.u., da camada superior. Nesse caso, o sistema de ventilação era ligado quando a umidade relativa do ar ambiente variava, diariamente, entre 40 e 70%.

A temperatura do ar durante a fase de pré-secagem foi mantida em $40 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. As temperaturas de secagem, da massa de grãos e do ar de exaustão podem ser observadas na Figura 7.

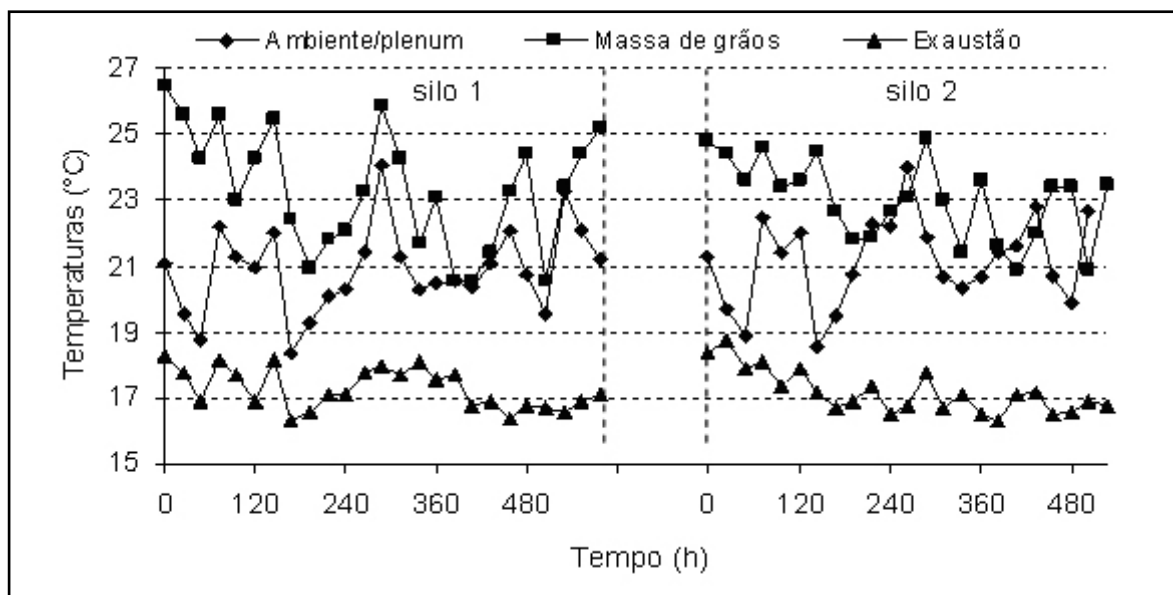


Figura 7 – Valores médios das temperaturas do ar de secagem da massa de grãos e do ar de exaustão, durante a secagem, nos silos 1 e 2.

As leituras das temperaturas da massa de grãos foram realizadas com o ventilador desligado. Observou-se que durante o processo de secagem os valores das temperaturas da massa de grãos se mantiveram superiores aos do ar ambiente, tendendo ao equilíbrio térmico no final do processo. Pelo fato de o sistema de ventilação ser ligado somente nas horas do dia em que a umidade relativa do ar era baixa (40 a 70%), quando era verificado maior potencial para a secagem, observou-se, comparativamente, menor temperatura de exaustão, em função da

evaporação da água dos grãos.

A variação média da massa específica aparente do café secado em terreiro pavimentado com cimento pode ser observada na Figura 8. Conforme ocorreu a secagem, houve redução na massa específica aparente, cuja variação foi de $579,2 \text{ kg m}^{-3}$, quando os grãos estavam com umidade de 57,8% b.u., até $414,8 \text{ kg m}^{-3}$, quando o teor de água era de 12,1% b.u. A variação média verificada na massa específica do café cereja descascado durante a secagem em camada fixa (secador híbrido) é apresentada na Figura 9.

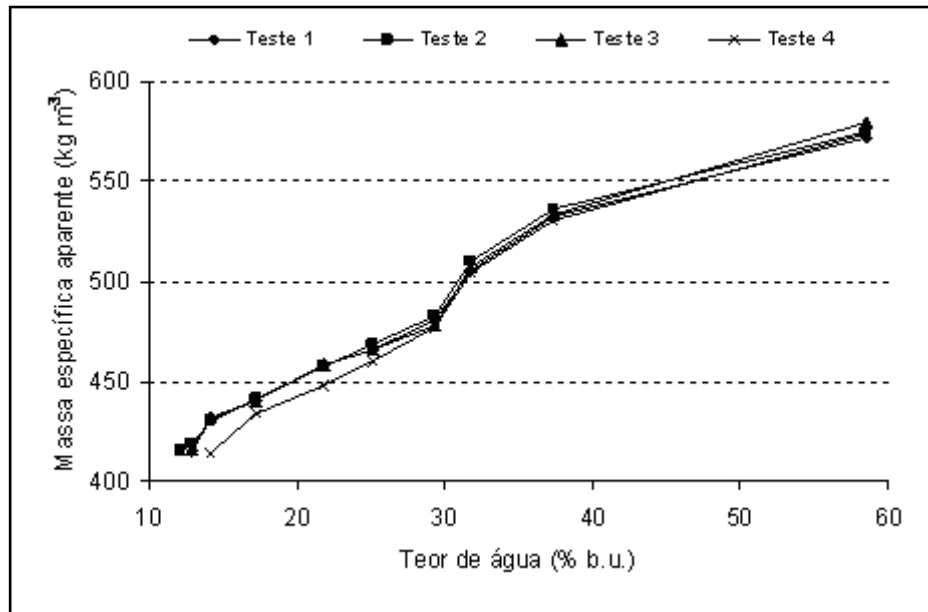


Figura 8 – Valores médios da massa específica aparente do café cereja descascado secado em terreno pavimentado com cimento.

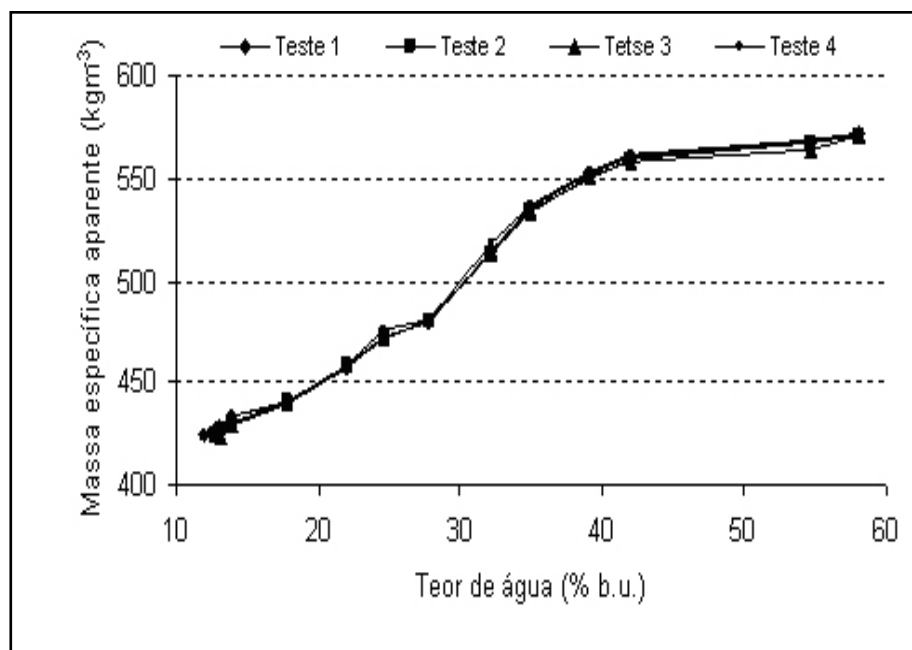


Figura 9 – Valores médios da massa específica aparente do café cereja descascado secado em camada fixa, em leiras (terreiro híbrido).

As curvas apresentaram a mesma tendência quando comparadas com as obtidas no terreno de cimento. Entretanto, observaram-se, em média, valores 2% maiores na massa específica aparente do café secado no terreno híbrido. Para valores médios de umidade inicial de 56,8% (b.u.),

a massa específica aparente foi de 571,4 kg m⁻³. Na umidade média de 12,0% (b.u.), o valor da massa específica aparente foi de 423,8 kg m⁻³.

Os resultados médios da massa específica aparente, observados durante a secagem combinada, são apresentados na Figura 10.

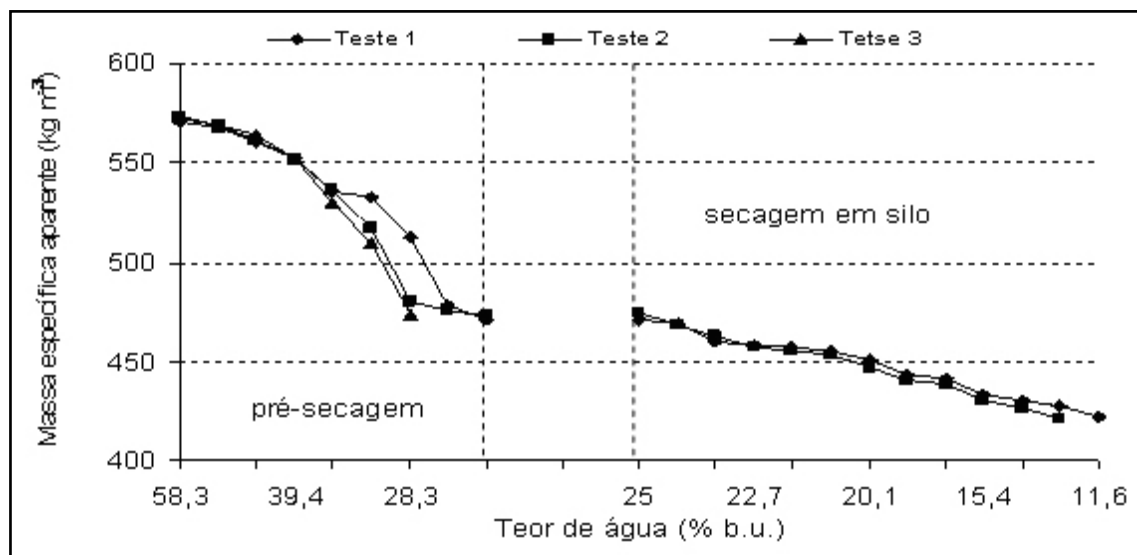


Figura 10 – Resultados médios observados na variação de massa específica aparente, em função do teor de água durante a secagem combinada de café descascado e desmucilado.

Observou-se uma variação máxima de $475,5 \text{ kg m}^{-3}$ quando o teor inicial de água do café era de $25,0\%$ (b.u.) e, ao final da secagem, quando o teor de água era de $11,6\%$ (b.u.), a massa específica dos grãos foi de $422,1 \text{ kg m}^{-3}$.

Os resultados médios obtidos da massa específica aparente no secador de leito fixo, em leiras ($423,8 \pm 0,3 \text{ kg m}^{-3}$) e na secagem combinada ($421,6 \pm 0,7 \text{ kg m}^{-3}$), foram superiores aos observados na secagem em terreiro ($414,6 \pm 0,9 \text{ kg m}^{-3}$). Os consumos específicos de energia, por teste, verificados em cada sistema de secagem, são apresentados na Figura 11.

Foram necessários $37.003,0 \text{ kJ kg}^{-1}$ de água evaporada para reduzir o teor de água do café, em valores médios, de $58,2 \pm 0,3$ para $12,0 \pm 0,2\%$ (b.u.), durante a secagem em terreiro de cimento. No secador de leito fixo, em leiras, a redução do teor de água foi de $56,8 \pm 0,6$ para $11,8 \pm 0,2\%$ (b.u.), resultando em uma eficiência energética de $10.945,0 \text{ kJ kg}^{-1}$ de água evaporada. No sistema combinado para a pré-secagem, a eficiência energética foi de $19.138 \text{ kJ kg}^{-1}$ de água evaporada, com uma redução de umidade de $57,9 \pm 1,0$ para $25,3 \pm 0,2\%$ b.u.,

e $193,0 \text{ kJ kg}^{-1}$ de água para complementação da secagem em silos, utilizando-se ar na temperatura ambiente e diminuindo o teor de água de $25,3 \pm 0,2$ para $12,0 \pm 0,5\%$ b.u. Cada teste foi conduzido com $2,5 \text{ m}^3$ de café cereja descascado e desmucilado, enquanto nos silos o volume de grãos foi de $51,7 \text{ m}^3$. A menor eficiência energética foi observada no terreiro de cimento devido ao tempo de operação, além do que, em determinados dias, se observou incidência de radiação difusa, que tem baixo potencial para o aquecimento do produto e, conseqüentemente, menor capacidade para a evaporação da água dos grãos. A eficiência energética observada no sistema de secagem de leito fixo em leiras estava em conformidade com outros resultados citados na literatura. O sistema de secagem em silo com ar na temperatura ambiente demandou baixo consumo de energia, por necessitar apenas de energia elétrica. Contudo, o tempo de operação foi superior aos demais. Sua aplicação está limitada aos teores de água dos grãos iguais ou inferiores a 25% (b.u.), nas condições de temperatura, umidade relativa e vazão de ar aplicada neste trabalho.

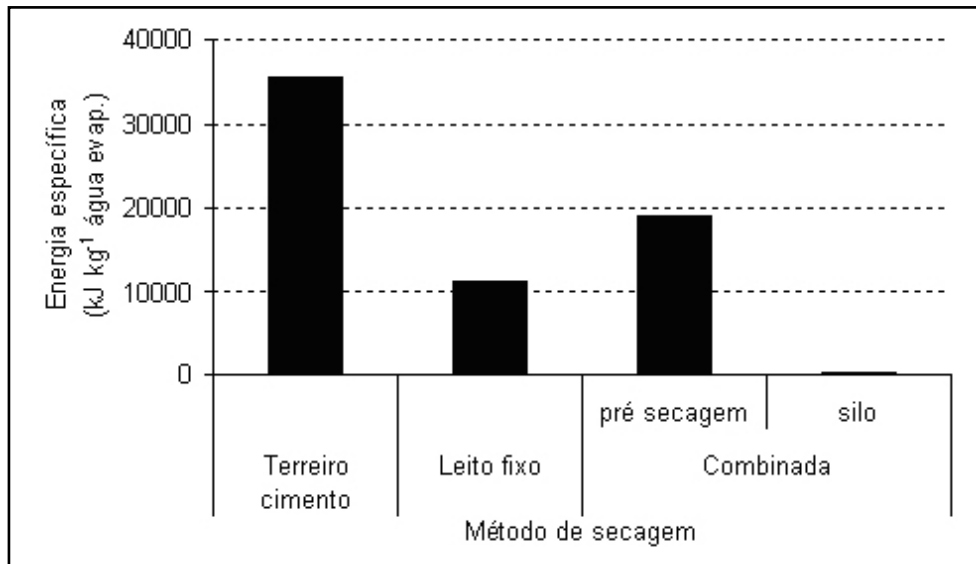


Figura 11 – Consumos específicos de energia, em valores médios, observados durante a realização da secagem de café cereja descascado e desmucilado, considerando-se os diferentes métodos.

Os resultados da secagem em terreiro, nas avaliações de bebida e peneiras, foram inferiores aos dos sistemas de leito fixo e combinado. Admite-se que no início do processo de secagem, indiferentemente do método utilizado, o café possuía a melhor qualidade observada, ou até superior. As formas de conduzir a operação e o método utilizado para a secagem podem ter depreciado a qualidade inicial do produto. Depreende-se que as

amostras 1, 2 e 3, as quais apresentaram bebida “apenas mole” quando secadas em leito fixo, tiveram sua qualidade depreciada na secagem em terreiro, o mesmo ocorrendo com a amostra 1, na secagem combinada. Análise similar pode ser feita nas amostras 6 e 8, que resultaram em bebida mole quando secadas no secador de leito fixo. A qualidade da bebida está representada no Quadro 1.

Quadro 1 – Qualidade da bebida nos diferentes sistemas de secagem de café

Amostras	Terreiro de Cimento		Leito Fixo		Combinada	
	Bebida	Peneira	Bebida	Peneira	Bebida	Peneira
01	dura	15	apenas mole	16	dura	16
02	dura	15	apenas mole	17	apenas mole	17/18
03	dura	16	apenas mole	18	apenas mole	18
04	dura	15	dura	16	dura	17
05	riada	16	apenas mole	17	dura	16
06	dura	15	mole	18/19	dura	17
07	dura	15	apenas mole	17	apenas mole	17/18
08	apenas mole	16	mole	17	apenas mole	17/18
09	dura	15	dura	18	dura	18
10	riada	15	apenas mole	17	apenas mole	17/18
11	dura	16	apenas mole	18/19	apenas mole	18
12	riada	15	apenas mole	18/19	dura	18
13	dura	16	dura	18	dura	18
14	dura	16	apenas mole	18	dura	17
15	dura	16	dura	18/19	apenas mole	18/19
16	riada	17	dura	18	dura	17

Em relação à redução de volume dos grãos observou-se que a secagem artificial realizada no terreiro de cimento resultou em grãos de menor tamanho, na sua maioria, retidos nas peneiras 15/64” e 16/64”. Os grãos expostos ao sol podem atingir temperaturas superiores a 45 °C durante a secagem. Essa temperatura ocorre em razão da umidade dos grãos, intensidade de insolação, espessura da camada e intensidade de revolvimento. Com temperaturas mais elevadas, dependendo da forma que for conduzida a operação, pode-se estabelecer alta taxa de secagem, o que possivelmente influencia a maior redução de volume dos grãos. Na secagem em leito fixo e na fase de pré-secagem do sistema combinado, a temperatura média do ar foi de 40 ± 5 °C, o que resultou em temperaturas inferiores a esse valor na massa de grãos. Na fase complementar da secagem combinada, a temperatura do ar era, aproximadamente, 2,0 °C acima da temperatura ambiente, o que estabelecia baixa taxa de evaporação da água dos grãos, resultando em menor redução de volume.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais, pode-se concluir que:

- Cafés secados em terreiro de cimento podem ter a qualidade depreciada em comparação com a secagem em leito fixo, em leiras ou em sistemas combinados.
- É possível obter melhor qualidade dos cafés secados em sistemas combinados, comparativamente com a secagem em terreiro de cimento, com menor consumo de energia.
- A secagem em silo pode resultar em menor demanda de energia por unidade de massa de água evaporada.
- A técnica de secagem em combinação, com pré-secagem em terreiro “híbrido”, utilizando aquecimento indireto do ar de secagem, e complementação da secagem em silos, com ar na

temperatura ambiente, pode ser incluída dentro das técnicas adotadas para as boas práticas nas operações de processamento de café.

REFERÊNCIAS

AFONSO JUNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 384 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRASIL. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (Primeira estimativa), 2008. 13 p. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 22 abr. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Instrução Normativa nº 8**, de 11 de junho de 2003. 11 p.

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

CAMPOS, A. T. **Desenvolvimento e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.) com sistema de revolvimento mecânico**. Viçosa, MG: UFV, 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FREIRE, A.C.F.; MIGUEL, A.C. **Rendimento e qualidade do café colhido nos diversos estádios de maturação em Varginha, MG**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1985. p. 210-214.

LACERDA FILHO, A. F. de. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. Viçosa, MG: UFV, 1986. 136 f.

- Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) 16, 1991.
– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. SILVA, J.S.; NOGUEIRA, R.M.; PRECCI, R.L. Um sistema ideal para secagem de café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: DPF/UFV, 2003. 709 p.
- MELO, E. C.; LOPES, D.C.; CORREA, P. C. GRAPSI – programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, AEAGRI, v. 12, n. 2, p.154-162, 2004. SILVA, J.S.; SAMPAIO, C.P.; MACHADO, M.C.; LO MONACO, P.A. Preparo, secagem e armazenagem. In: SILVA, J.S. et al. (Eds.). **Secagem e armazenagem do café** – Tecnologias e custos. Viçosa, MG: UFV, CBP&D-Café, 2001. p. 1-60.
- PINTO, F. A. C.; SILVA, J. de S. E.; SOUZA, F.F. de. Simulação de secagem de grãos. Modelo de Hukill. **Engenharia na Agricultura**, v. 1, n. 1, p.