



## Secagem de café em combinação

**Adílio F. de Lacerda Filho<sup>1</sup> & Juarez de S. e Silva<sup>2</sup>**

### RESUMO

Objetivou-se avaliar um sistema de secagem de café, com meia-seca em leito fixo e complementação da secagem em secador de lotes, intermitente, de fluxos concorrentes, em um experimento instalado na Área de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais, DEA-UFV. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado. Fez-se a colheita pelo método de derrça sobre o chão. Os frutos foram pré-processados por via seca, secando-se os frutos verdes, cerejas e passas. Na meia-seca, a umidade inicial dos frutos variou entre 68,9 e 71,3% b.u. e a final entre 44,0 e 47,5% b.u. Na complementação da secagem a umidade final variou entre 12,2 e 13,8% b.u. A temperatura do ar, no secador de leito fixo, variou entre 50,4 e 76 °C, e no de fluxos concorrentes, entre 87,2 e 110 °C. A entalpia específica no secador de leito fixo variou entre 8,4 e 9,1 MJ kg<sup>-1</sup> e no de fluxos concorrentes, entre 7,1 e 16,9 MJ kg<sup>-1</sup>. Relativamente às testemunhas, a qualidade final do produto apresentou melhores características comerciais. Concluiu-se que a meia-seca em leito fixo e a secagem em secador de fluxos concorrentes, além de reduzir o tempo de operação, poderá contribuir para melhor preservar as qualidades que o produto adquire no campo.

**Palavras-chave:** energia, leito fixo, fluxos concorrentes, qualidade

## A combined system for coffee drying

### ABSTRACT

The general objective of this study was the evaluation of a system for coffee drying, using partial drying in fixed bed dryer and complementary drying in an intermittent concurrent flow batch dryer. The experiment was carried out in the Vegetable Products Processing Area, DEA-UFV. The drying tests were accomplished in completely randomized design. The coffee was harvested on the ground by manual striping process. The fruits were pre-processed by drying of ripe, overripe and greenish cherries. For the preliminary drying, the initial coffee moisture content varied from 68.9 to 71.3% w.b. with the drying being interrupted with moisture content between 44.0 and 47.5% w.b. In the complementary drying phase the final moisture varied between 12.2 and 13.8% w.b. The temperature of the drying air, in the fixed-bed dryer, varied from 50.4 to 76 °C, and in the concurrent flow batch dryer, between 87.2 and 110 °C. The specific enthalpies were 8.4 to 9.1 MJ kg<sup>-1</sup> and 7.1 to 16.9 MJ kg<sup>-1</sup> for the fixed-bed dryer and concurrent flow batch dryer, respectively. In comparison with the control tests, the final quality of the product presented better commercial characteristics. It was concluded that with preliminary drying in fixed bed dryer and complementary drying in a concurrent flow dryer, besides reducing the total drying time, the combined system contributes to a better preservation of qualities acquired in field.

**Key words:** energy, fixed-bed, concurrent flows, coffee quality

<sup>1</sup> DEA/UFV. CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-1872. E-mail: [alacerda@ufv.br](mailto:alacerda@ufv.br)

<sup>2</sup> DEA/CBP&D Café/UFV. Fone: (31) 3899-1889. E-mail: [juarez@ufv.br](mailto:juarez@ufv.br)

## INTRODUÇÃO

A secagem de café é, comparativamente, mais difícil de ser executada que a de outros produtos. Além do elevado teor de açúcar presente na mucilagem, a umidade inicial, aproximadamente igual a 60% b.u., faz com que a taxa de deterioração seja alta, logo após a colheita. Qualquer que seja o método de secagem utilizado, para condicionar o produto ao armazenamento seguro, ressalta-se o seguinte: a) evitar fermentações indesejáveis antes e durante a secagem; b) evitar temperatura excessivamente elevada na massa de grãos; e d) procurar, após a secagem completa, quando os frutos tiverem umidade entre 11 e 12% b.u., obter lotes de grãos que apresentem coloração, tamanho e massa específica uniformes.

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos, são utilizados, basicamente, três métodos para secagem de café (Silva & Berbert, 1999): secagem artificial em terreiro, secadores mecânicos e secagem combinada.

Para Brooker et al. (1992), a secagem é uma operação crítica considerando a seqüência colheita – secagem – armazenagem – pré-processamento – transporte. Geralmente, dentro dessa seqüência atribui-se indevidamente à secagem a maior causa de deterioração de grãos.

A qualidade do café, como bebida, depende de vários elementos, como: a) composição química do grão, determinada por fatores genéticos, ambientais e culturais; b) métodos de colheita, processamento e armazenagem; c) torração e preparo na bebida, sendo, os dois últimos, responsáveis pela modificação da constituição química dos grãos, a partir da sua composição original (Silva, 2000).

No Brasil, segundo os aspectos tecnológicos envolvidos, utilizam-se basicamente dois métodos para secagem de café: a) secagem em terreiros – espalha-se o produto sobre pisos de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto, com o objetivo de expor o produto diretamente à radiação solar. Os grãos são revolvidos continuamente com o auxílio de um rodo ou de outro equipamento similar, objetivando movimentá-los através do ar; e b) secagem em secadores mecânicos – o ar aquecido passa através da massa de grãos por meio de um sistema de ventilação forçada podendo, ou não, serem movimentados dentro do secador.

Hawak et al. (1978) informaram que os secadores de fluxos concorrentes foram patenteados no ano de 1955, por Ohlm, e que alguns modelos passaram a ser fabricados nos Estados Unidos, a partir de 1970.

Thompson e colaboradores, apud Mühlbauer et al. (1978), afirmaram que os secadores de fluxos concorrentes admitem a possibilidade de uso de temperaturas mais elevadas durante a secagem, comparada com os outros sistemas existentes. No secador de fluxos concorrentes, os grãos e o ar desenvolvem trajetórias de mesmo sentido dentro do secador. A grande diferença entre a temperatura do ar de secagem e a temperatura máxima alcançada pelos grãos permite a utilização, no secador de fluxos concorrentes, de temperaturas superiores às aquelas utilizadas em todos os outros sistemas.

Brook & Bakker-Arkema (1980), mesmo utilizando

temperatura elevada (260 °C) durante a secagem em secadores de fluxos concorrentes, não observaram a ocorrência de trincas, pelo fato de ocorrer elevada taxa de evaporação de água na superfície dos grãos, associada ao rápido resfriamento do ar de secagem. Afirmaram, ainda, que a soja secada com ar à temperatura de 323 °C, apresentou boa qualidade em relação à extração de óleo. Entretanto houve decréscimo na percentagem de germinação e aumento no índice de trincas.

Bakker-Arkema e colaboradores, apud Hawk et al. (1978), informaram que a alta temperatura e o elevado fluxo do ar de secagem proporcionaram grande eficiência energética ao secador de fluxos concorrentes, quando comparado com o sistema de fluxos cruzados.

Estudos sobre o comportamento da bebida do café, com diferentes índices de maturação e temperatura de secagem entre 50 e 80 °C, com variações em intervalos crescentes de 5 °C, a partir da menor temperatura, indicaram que as temperaturas de 50 e 55 °C conferiram qualidade inferior à bebida do produto, se comparada àquela obtida com o café secado à temperatura de 70 e 75 °C. Concluíram, ainda, que tal comportamento não se deve apenas à atividade enzimática modificada em função da variação da temperatura mas, também, à redução do tempo de secagem, quando utilizaram temperaturas mais elevadas (Ferraz & Veiga, s.d.).

A secagem de café, em sistema intermitente, com ar de secagem aquecido até 130 °C no início da operação, e 70 °C, quando a umidade dos grãos era igual ou inferior a 18,0% b.u., apresentou a mesma bebida que o café secado em terreiro (Jordão et al., 1980).

A secagem de café em camada fixa, em substituição aos terreiros, no início do processo, apresentou-se como alternativa econômica, não só por impedir que o produto fique exposto às condições adversas de clima mas, também, por realizar a secagem em menor intervalo de tempo, tanto em meia-seca, combinando com outro sistema, quanto para a secagem completa dos frutos.

Nos sistemas de secagem em leito fixo, o ar de secagem é movimentado da camada inferior para a porção superior da massa de grãos. A troca de umidade que ocorre entre os grãos e o ar acontece em uma região denominada zona de secagem. Normalmente, o movimento dessa zona de secagem acontece da camada inferior para a superior da massa, à medida que vai ocorrendo a secagem (Brooker et al., 1979).

O Índice de Performance de Avaliação de Secador, para o cálculo de energia requerida por alguns tipos de secadores de grãos, conhecendo-se a sua capacidade, foi proposto por Baker-Arkema et al. (1978) e definido como sendo a energia total requerida para evaporar uma unidade de massa de água dos grãos, sob condições padronizadas de testes, previamente estabelecidas. A energia total é o resultado da soma da energia utilizada para o aquecimento do ar de secagem, para a movimentação dos grãos durante a secagem e para o resfriamento.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a qualidade do café “cereja”, colhido por derriça no chão, processado por via seca e secado em um sistema combinando a pré-secagem

em secador de leito fixo, e a complementação da secagem em sacador de lotes, intermitente, de fluxos concorrentes.

Os objetivos específicos foram:

- a) Desenvolver um sistema de secagem em lotes, intermitente, de fluxos concorrentes, para café.
- b) Avaliar, energeticamente, os sistemas de secagem em leito fixo e em fluxos concorrentes.
- c) Avaliar a qualidade do café secado em combinação e comparar os resultados com os observados em café secado ao sol.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, em delineamento inteiramente casualizado, foi montado na Área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Foram realizados três testes experimentais. Pela impossibilidade de se obter médias entre testes de sistemas de secagem, por não haver repetições entre os mesmos, os resultados serão analisados considerando cada teste individualmente.

O café foi colhido pelo método de derriça no chão, em uma propriedade localizada na microrregião de Viçosa. Após a colheita, o produto foi lavado e foram separados os frutos pesados (“cerejas” e “passas”) dos frutos leves (“coco” e danificados). O experimento foi conduzido utilizando-se os frutos “cereja” e “passas”. Após a lavagem e a separação, os frutos foram colocados em um secador de camada fixa para a realização do processo de pré-secagem.

De cada teste, aproximadamente mil litros de frutos foram secados ao sol, em bandejas suspensas, para serem utilizados como testemunha.

Sistemas de secagem

**Secagem em camada fixa.** A secagem em camada fixa teve por objetivo a redução do teor de água dos frutos, até que os mesmos tivessem fluidez no secador de fluxos concorrentes.

A Figura 1 ilustra o sistema de secagem em leito fixo, o

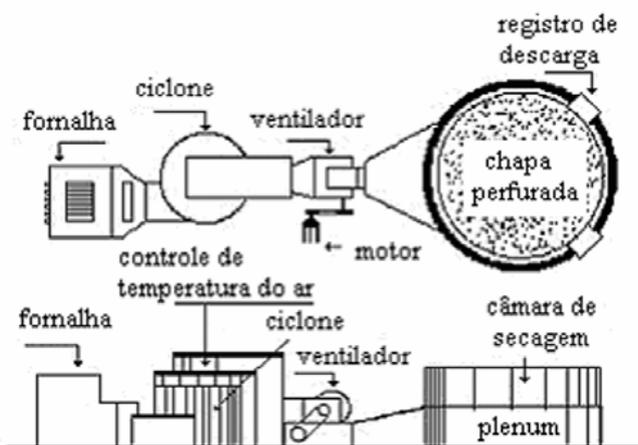


Figura 1. Sistema de secagem em leito fixo

qual foi composto pelas seguintes partes: fonte de aquecimento, ventilador (vazão de aproximadamente 27 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>), câmara plenum e câmara de secagem, cuja capacidade estática era de 3,5 m<sup>3</sup>.

O aquecimento do ar de secagem foi feito por uma fornalha a fogo direto, construída em alvenaria de tijolos, argila e melaço de cana-de-açúcar. O combustível utilizado foi lenha de eucalipto, com teor de umidade de 25,0% b.u., aproximadamente.

O secador foi carregado com frutos recém saídos do lavador. A espessura da camada de produto na câmara de secagem era de 0,50 m. A fim de reduzir os gradientes de umidade e de temperatura, considerando a espessura da massa, os frutos foram revolvidos manualmente, em intervalos regulares de 120 min.

**Secagem intermitente em secador de fluxos concorrentes.** A Figura 2 ilustra o sistema de secagem em fluxos concorrentes. O protótipo se compunha das seguintes partes: a) câmara de repouso com volume de 1,3 m<sup>3</sup>, possuindo quatro lados iguais, com 1,0 m de largura; b) câmara plenum, com volume de 0,8 m<sup>3</sup> e os quatro lados iguais, com 1,0 m de largura; c) câmara de secagem, com volume de 0,55 m<sup>3</sup> e área transversal de 1,0 m<sup>2</sup>; d) ventilador centrífugo, cuja curva de vazão versus pressão estática pode ser vista na Figura 3; e) elevador de caçambas, com altura de 8,0 m, potência de 3/4 de cv e capacidade nominal de 22,4 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

À semelhança do secador de camada fixa, o aquecimento do ar de secagem foi feito em fornalha a fogo direto, construída em alvenaria de tijolos, argila e melaço de cana-de-açúcar. O combustível utilizado foi lenha de eucalipto, cujo teor de umidade inicial era 20,0% b.u., aproximadamente.

**Análise dos sistemas de secagem.** As variáveis utilizadas para as análises dos sistemas de secagem forma propostas por Bakker-Arkema et al. (1978), apresentadas a seguir: a) parâmetros dos grãos – tipo de grãos, umidades

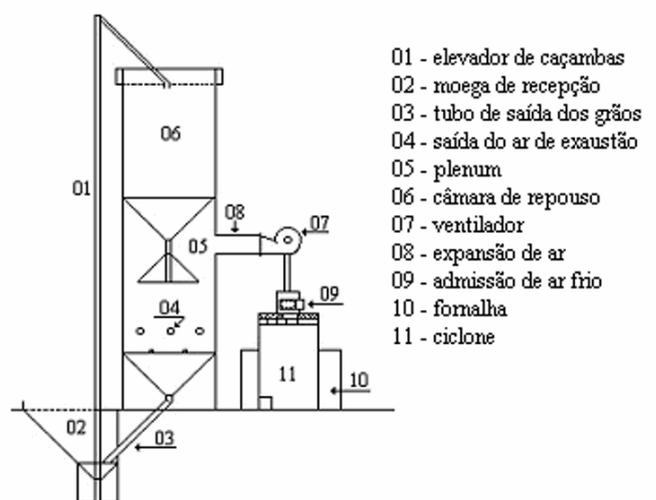


Figura 2. Vista do sistema de secagem em lotes, intermitente, de fluxos concorrentes

inicial e final (% b.u.), temperaturas de entrada e de saída (°C), teor de impurezas (%), massa específica antes e após a secagem ( $\text{kg m}^{-3}$ ), análise da qualidade inicial, quantidade de produto úmido (kg); b) parâmetros do ar – temperatura do ar utilizado para a secagem e do ambiente (°C), umidade relativa do ambiente (%); c) especificações do secador – vazão de ar ( $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-3}$  de grãos), vazão de grãos ( $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ ), tempo de resfriamento (h), ou altura da coluna de resfriamento (m), pressão estática (mm ca), tempo de carga e de descarga (h); e) energia utilizada – para acionar o ventilador (kWh), para aquecimento do ar (kJ), para movimentação de grãos (kWh); f) dados de desempenho do secador – duração do teste (h), ou volume do secador ( $\text{m}^3$ ), redução de umidade do produto (%), eficiência energética, incluindo e excluindo eletricidade ( $\text{kJ kg}^{-1}$ ).

### Monitoramento dos parâmetros

**Temperaturas.** As medidas de temperatura do ar ambiente foram feitas em um termômetro gráfico, aferido por um psicrômetro, instalados em um abrigo meteorológico, conforme os padrões técnicos recomendados pelo Ministério da Agricultura, e localizados na área de experimentação. No secador de camada fixa e no de fluxos concorrentes, as leituras de temperaturas foram monitoradas com o uso de um potenciômetro conectado a pares termoeletrônicos, cujas leituras foram feitas em graus Celsius.

**Vazão de ar.** A vazão de ar no secador de fluxos concorrentes foi obtida através da curva característica do ventilador (NAFM, 1952; Ower & Pankhurst, 1977). Na câmara plenum foram construídos pontos para as medidas da pressão estática, as quais foram feitas com a utilização de um manômetro diferencial inclinado, cujas leituras se fizeram em equivalência de coluna de água.

No secador de camada fixa a vazão de ar foi medida com o uso de um anemômetro (Ower & Pankhurst, 1977).

**Umidade relativa do ar e teor de água dos grãos.** A umidade relativa do ar ambiente foi medida em um termômetro gráfico instalado em um abrigo meteorológico e as de umidade relativa de exaustão o foram com o uso de higrômetros instalados no sistema de exaustão do secador (Silva & Lacerda Filho, 1981).

O teor de água dos grãos foi medido em estufa, com circulação forçada, atendendo às normas estabelecidas pela “American Association of Cereal Chemists”, isto é,  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , durante 72 h. As amostragens seguiram os critérios do Ministério da Agricultura (Brasil, 1992). Paralelamente às medidas de umidade em estufa, utilizou-se, ainda, as de um determinador eletrônico. Este procedimento teve como finalidade acompanhar a redução de umidade do produto durante a secagem, tendo em vista que estes tipos de aparelhos fornecem leituras imediatas.

A umidade da madeira utilizada como combustível foi medida em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , durante 48 h (Skaar, 1972).

**Energia.** A energia utilizada para movimentar o ar e os grãos foi estimada com base na potência e no tempo de funcionamento dos motores elétricos instalados no sistema de ventilação e de movimentação do produto, durante as operações de secagem.

Estimou-se a energia (Eq. 1) necessária para o aquecimento do ar de secagem com base no poder calorífico inferior do combustível (Ravaglia, 1965).

$$P_{ci} = 8100 \cdot C + 34000 \cdot \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2500 \cdot O - 600 \cdot (O - 9 \cdot H) \cdot 4,186 \quad (1)$$

em que

$P_{ci}$  – poder calorífico inferior,  $\text{kJ kg}^{-1}$

$C$  – fração de carbono presente no combustível,  $\text{kg kg}^{-1}$

$H$  – fração de hidrogênio presente no combustível,  $\text{kg kg}^{-1}$

$S$  – fração de enxofre presente no combustível,  $\text{kg kg}^{-1}$

$O$  – fração de oxigênio presente no combustível,  $\text{kg kg}^{-1}$

$W$  – teor de água do combustível, % b.u.

### Fluxo e massa específica dos grãos

O fluxo de grãos no secador de fluxos concorrentes foi medido, experimentalmente, a partir da cronometragem do tempo necessário para o transporte de  $1,0 \text{ m}^3$  de grãos. A massa específica dos grãos foi medida em intervalos de tempo regulares de 2,0 h, conforme as normas do Ministério da Agricultura, em balança de peso hectolítrico, com capacidade de 1,0 L, sendo que, neste mesmo intervalo, obteve-se o fluxo de grãos, em unidades de massa ou de volume, por unidade de tempo.

### Avaliação da qualidade do produto

O produto, após a secagem, foi classificado obedecendo aos padrões de classificação estabelecidos para a comercialização do café, apresentados por Graner & Godoy Júnior (1967) e pelo IBC (1981). Esta avaliação foi feita pela Cooperativa Regional dos Produtores de Guaxupé, em Guaxupé, MG.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de secagem, relativas às fases de meia-seca no secador de camada fixa e de complementação de secagem no secador de fluxos concorrentes, podem ser vistas na Figura 3.

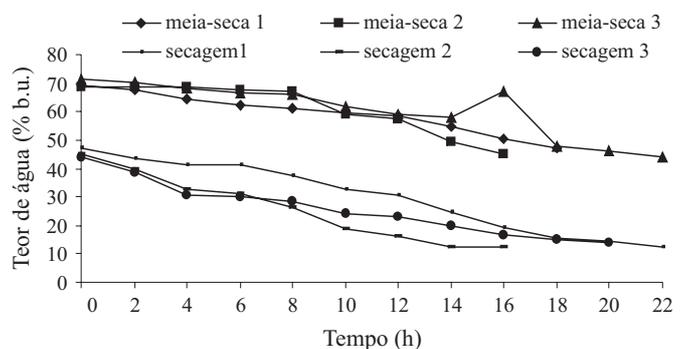


Figura 3. Curva de secagem para a fase de meia-seca em secador de leito fixo e de complementação de secagem em secador de fluxos concorrentes

A umidade inicial dos frutos de café, ao saírem do lavador, foi de 69,4; 68,9 e 71,3% b.u., e a umidade, ao final da fase de meia-seca, foi 47,5; 45,3 e 44,0% b.u., para os respectivos tempos de 18; 16 e 22 h de operação. Observa-se que a diferença máxima entre os teores finais de água dos frutos, na fase de meia-seca, foi 3,5 pontos percentuais, buscando-se padronizar a umidade inicial dos frutos para a análise do secador de fluxos concorrentes, conforme sugeriram Bakker-Arkema et al. (1978). A variação no tempo de meia-seca foi devido à variação no teor final de água. Foram necessárias 22 h para reduzir o teor de água de 71,3 para 44,0% b.u., no terceiro teste. Este, também, foi o tempo necessário para reduzir o teor de água dos frutos de 47,5 para 12,5%, no secador de fluxos concorrentes. A partir do primeiro lote, simultaneamente, fez-se a meia-seca e a complementação da secagem, reduzindo significativamente, o tempo de operação. Observou-se o tempo de meia-seca e o de secagem do teste 2 foi de 16 h, enquanto que o de meia-seca, no teste 3, foi de 22 h, para 20 h de secagem, considerando que o teor final de água nos frutos de café foi 12,5; 12,2 e 13,8% b.u., respectivamente, para os testes 1, 2 e 3, sendo as últimas três horas de operação destinadas ao resfriamento dos frutos.

A Figura 4 contém os valores de temperatura do ar de secagem, de exaustão e dos frutos, durante a fase de meia-seca. A temperatura média diária durante os três testes variou entre 14,0 e 16,5 °C.

Referente ao primeiro teste observou-se que, no tempo zero, as temperaturas do ar de secagem e dos grãos eram muito próximas. Isto ocorreu apenas no início do processo. A grande diferença de temperatura observada entre o ar de secagem e os grãos, nos três testes, se deve ao fato da elevada umidade inicial dos frutos proporcionar alta taxa de formação de vapor d'água na sua superfície. Conforme ocorreu a secagem, observou-se uma tendência de equilíbrio entre a temperatura do ar de secagem e a dos frutos.

Observa-se que a temperatura dos frutos foi sempre maior que a de exaustão devido à elevada taxa de evaporação de água e à velocidade com que o ar passou através da massa de produto.

A redução na temperatura do ar de secagem, observada no segundo teste, ocorreu devido à interrupção no processo, após 6 h de operação, reiniciado após uma interrupção de 10 h. Neste intervalo a temperatura dos frutos reduziu de 29,3 para 23,9 °C.

Durante a fase de meia-seca a massa de frutos foi revolvida em intervalos regulares de duas horas, com o objetivo de reduzir o gradiente de umidade e de temperatura ao longo da espessura da camada de produto. O revolvimento foi manual e o tempo necessário para cada revolvimento variou entre 30 e 40 min.

No terceiro teste, observa-se que, mesmo a temperatura do ar de secagem tendo atingido 76,0 °C, a temperatura dos frutos não ultrapassou 29,8 °C, no intervalo de tempo considerado. O objetivo foi manter a temperatura do ar de secagem em torno de 60,0 °C, conforme indicações da literatura. As variações de temperatura ocorreram devido às dificuldades em regular a fornalha a fogo direto, com a queima de lenha.

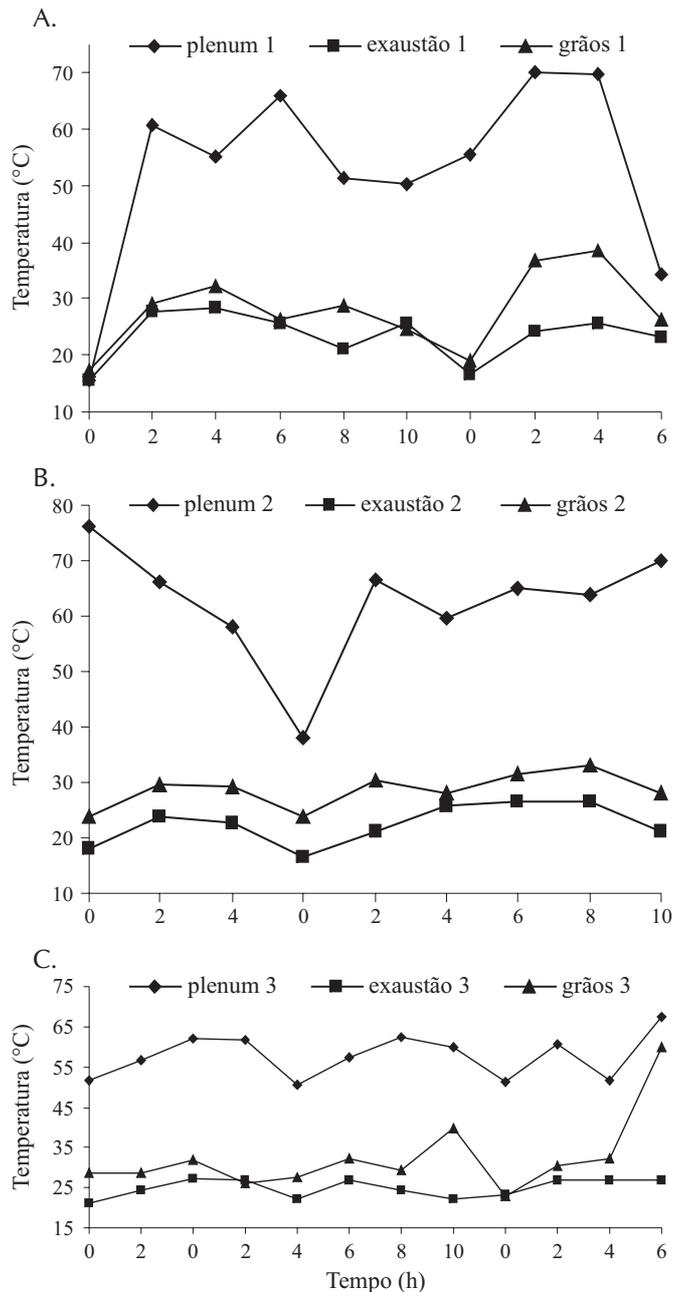


Figura 4. Variações entre as temperaturas (°C) do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão, referentes aos primeiro (A), segundo (B) e terceiro (C) testes

Na Figura 5, observam-se as variações de temperatura na câmara de secagem, plenum, exaustão e na massa de frutos, durante a secagem no secador de fluxos concorrentes.

A média da temperatura máxima e mínima diárias, durante os testes, foi 14,0 e 16,5 °C, respectivamente. A indicação de zero (0) na escala de tempo corresponde à interrupção do processo durante o período noturno, e a de "R" corresponde ao período de resfriamento dos frutos no final do processo.

Observa-se, no primeiro teste que, após 6 h de operação, o processo foi interrompido. Durante esse período, a temperatura do ar no plenum diminuiu para 50,0 °C. Entretanto, a temperatura na câmara de repouso foi mantida em 37,6 °C,

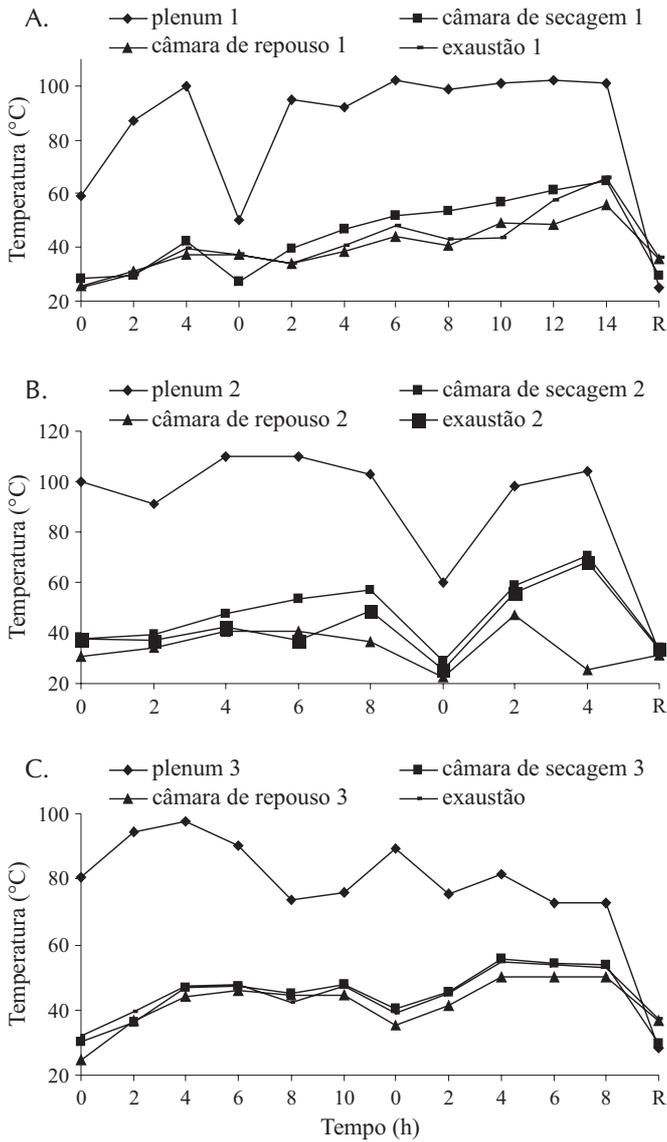


Figura 5. Variações de temperaturas do ar no plenum, da massa de frutos, e do ar de exaustão durante o primeiro (A), o segundo (B) e o terceiro (C) teste, no secador de fluxos concorrentes

contendo, os frutos, um teor de água de 41,4% b.u. À medida que ocorria a redução de umidade, a temperatura da massa de frutos aumentava para uma variação na temperatura do ar de secagem entre 95,0 e 102,0 °C. Comportamento semelhante foi observado no segundo teste. No terceiro teste, constatou-se que a temperatura do ar no plenum não foi reduzida antes de iniciar a interrupção do processo durante o período noturno, o que proporcionou a manutenção da temperatura dos frutos em valores mais uniformes.

Observou-se, no primeiro teste, que a variação entre 59,3 e 102,0 °C na temperatura do ar de secagem proporcionou aquecimento nos frutos entre 28,6 e 64,6 °C, quando o teor de água variou entre 47,5 e 14,5% b.u., respectivamente. Esse comportamento era esperado, considerando que a temperatura dos frutos tende a se igualar aos valores da temperatura do ar de secagem, conforme ocorre redução no seu teor de água. É importante observar que, após 20 h de secagem, os frutos tinham umidade de 13,8% b.u., a temperatura do ar no ple-

num era 101,0 °C e a da massa de frutos na câmara de secagem era 64,6 °C. Esse comportamento que também foi observado no segundo e terceiro testes, mostra que nos sistemas de secagem intermitentes, de lotes, em fluxos concorrentes é possível trabalhar com temperaturas de secagem em torno de 100,0 °C, sem proporcionar estresse térmico aos frutos de café.

As temperaturas do ar de exaustão, observadas nos três testes, variaram entre 25,0 °C, no início do teste 1, até o máximo de 68,1 °C, no final do teste 2, tendo um comportamento semelhante ao das curvas de temperatura dos frutos nas câmaras de secagem e de repouso. Esses baixos valores da temperatura de exaustão indicam uma alta umidade relativa do ar e, conseqüentemente, maior eficácia do sistema de secagem.

Ressalta-se que os valores da temperatura dos frutos na câmara de repouso foram inferiores aos observados na câmara de secagem, indicando que houve migração de água do interior para a superfície dos frutos durante o período de residência na câmara de repouso. Isto porque, os frutos ao atingirem a câmara de secagem com a superfície umedecida, sofreram menos o efeito da temperatura elevada.

Os valores das entalpias específicas, obtidas experimentalmente nas fases de pré-secagem em camada fixa, e de secagem no secador de fluxos concorrentes, estão apresentados na Figura 6.

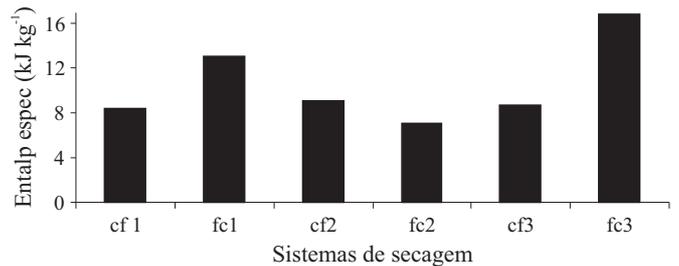


Figura 6. Entalpia específica dos sistemas de secagem em camada fixa (cf) e em fluxos concorrentes (fc), em valores médios, para os testes 1, 2 e 3

Em valores médios, observa-se, na fase de pré-secagem, a eficiência de 8,4, 9,1 e 8,7 MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada, respectivamente, para os testes 1, 2 e 3.

Na fase de secagem em fluxos concorrentes os respectivos valores de eficiência, para os mesmos testes, foram 13,2, 7,1 e 16,9 MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada.

Devido à maior umidade dos frutos, as necessidades energéticas por unidade de massa de água evaporada, durante a pré-secagem, foram menores que durante a de secagem. Na fase de pré-secagem, no primeiro teste, a umidade foi reduzida de 69,4 para 47,5% b.u.; no segundo teste, foi de 68,9 para 45,3% b.u. e no terceiro teste foi de 71,3 para 44,0% b.u.. Pode-se considerar que, nesses níveis de umidade, a água contida nos grãos comporta-se como a água livre, sendo facilmente evaporada.

No sistema de secagem em fluxos concorrentes, a redução de umidade foi de 47,5 para 12,5% b.u., no primeiro teste; de 45,3 para 12,2% b.u., no segundo; e de 43,8 para 13,8% b.u. no terceiro teste. Esses valores de umidade, conforme ocorre a secagem, condicionam à maior demanda de energia por unidade de massa de água evaporada, uma vez que as moléculas de água exercem maior força de adsorção

física sobre os radicais de ligação. A menor eficiência, observada no terceiro teste realizado no secador de fluxos concorrentes, pode ser resultado de problemas operacionais, considerando que, nesse teste, observa-se menor média na temperatura de secagem. Em valores médios, a temperatura do ar, medida no plenum, foi de  $91,7 \pm 18,3$ ;  $102,8 \pm 5,2$  e  $82,6 \pm 9,5$  °C, para os testes 1, 2 e 3, respectivamente. Verificou-se que a utilização de menor temperatura de secagem no teste 3, para a mesma vazão de ar, resultou em maior tempo de operação e menor consumo específico de energia.

A Tabela 1 contém os resultados observados durante as fases de pré-secagem, no secador de camada fixa, e de secagem, no secador de fluxos concorrentes, para os três testes experimentais.

Buscou-se padronizar as condições iniciais de umidade do produto para as duas fases do processo de secagem, a fim de obter uniformidade entre os testes, conforme foi proposto por Bakker-Arkema et al. (1978).

Observou-se na fase de pré-secagem que, mesmo o secador de leito fixo, por sua concepção, ser um equipamento de baixa eficiência energética, seu consumo específico de energia variou entre 8,6 e 9,2 MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada. Isso porque o equipamento operou com o produto contendo elevado teor inicial de água, encerrando o processo quando a umidade variava entre 44 e 47,5% b.u. Esses resultados indicam que os sistemas de secagem em leito fixo podem ope-

rar em sistemas combinados, com alta eficiência energética, para a pré-secagem de café cerejea.

Os secadores de fluxos concorrentes, por sua concepção, comparativamente, são considerados os equipamentos de maior eficiência energética. O consumo específico de energia para a redução do teor de água do café de, aproximadamente, 45,0 para 12,5% b.u. variou entre 7,5 e 17,4 MJ kg<sup>-1</sup> de água evaporada. A maior eficiência ocorreu quando foi utilizada uma temperatura mais elevada no ar de secagem.

Pela Tabela 1 verifica-se, ainda, grande variação na temperatura média observada no ar de secagem, pelo fato do sistema operar com fornalha a lenha, com fogo direto, e a operação não ter sido devidamente controlada com relação à padronização do combustível e do abastecimento do sistema gerador de calor. Tal procedimento pode ter reduzido a eficiência energética do sistema, tanto na fase de pré-secagem, quanto na de complementação da secagem.

No teste 2, em que a temperatura de secagem foi da ordem de 100 °C, houve redução de 4 horas no tempo de operação. Este tempo pode ser considerado importante fator de redução do custo operacional, não só por aumentar a capacidade de secagem mas, também, por reduzir a taxa de utilização de mão-de-obra.

A qualidade final do produto está apresentada na Tabela 2. É possível que as características da bebida tenham sido comprometidas no campo, uma vez que as amostras-testemunhas,

**Tabela 1.** Resultados experimentais da avaliação do sistema de secagem combinado, com pré-secagem em leito fixo e complementação de secagem em fluxos concorrentes

Variáveis observadas	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	L. fixo	F. conc.	L. fixo	F. conc.	L. fixo	F. conc.
Relativas aos grãos - café cerejea						
Umidade inicial, % b.u.	69,4	47,5	68,9	45,3	71,3	43,8
Umidade final, % b.u.	47,5	12,5	45,3	12,2	44,0	13,8
Temperatura inicial dos grãos, °C	17,2	25,5	23,7	30,6	28,7	24,7
Temperatura final dos grãos, °C	26,4	35,6	28,1	28,7	59,9	31,3
Teor de impurezas da massa de grãos, %	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Massa específica aparente inicial, kg m <sup>-3</sup>	580,0	506,0	580,0	490,0	583,0	472,0
Massa específica aparente final, kg m <sup>-3</sup>	506,0	360,0	490,0	360,0	472,0	360,0
Relativas ao ar						
Temperatura de secagem, °C	56,3±14,3	91,7±18,3	67,1±6,6	102,8±5,2	54,9±5,6	82,6±9,5
Temperatura média ambiente, °C	14,7±1,0	14,7±1,0	14,7±1,0	15,8±1,0	15,2±1,0	15,8±1,0
Temperatura de exaustão, °C	25,3±1,6	40,8±9,2	23,2±4,6	43,7±8,9	25,6±1,9	45,1±6,1
Umidade relativa média ambiente, %	76,0±1,0	74,0±1,0	75,5±1,0	73,0±1,0	73,0±1,0	75,5±1,0
Relativas ao secador						
Fluxo de ar, m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	27,0	25,0	27,0	25,0	27,0	25,0
Fluxo de grãos, m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	-	0,37	-	0,37	-	0,37
Espessura da camada de grãos, m	0,50	0,5	0,50	0,5	0,5	0,5
Largura da câmara de secagem, m	-	1,0	-	1,0	1,0	1,0
Área da câmara de secagem, m <sup>2</sup>	7,1	1,0	7,1	1,0	7,1	1,0
Pressão estática, mm ca	4,0±1,0	19,4±2,7	4,0±1,0	20,5±2,9	4,0±1,0	22,1±4,5
Relativas à energia						
Combustível, kg h <sup>-1</sup> (*)	33,9	36,5	42,6	23,2	33,4	40,7
Energia elétrica, kWh	46,4	73,5	41,2	58,8	80,7	73,4
Desempenho do secador						
Duração dos testes, h	18,0	20,0	16,0	16,0	22,0	20,0
Redução de umidade dos grãos, % b.u.	21,9	34,5	23,6	33,1	27,3	30,0
Efic. energ. incluindo eletríc., MJ kg <sup>-1</sup>	8,6	13,2	9,2	7,5	9,0	17,4
Efic. energ. excluindo-se a elet., MJ kg <sup>-1</sup>	8,4	13,6	9,1	7,1	8,7	16,9

(\*) Eucalipto com 25% b.u.; L fixo – leito fixo; F conc – fluxos concorrentes

secadas em bandejas suspensas, com fundo de tela, expostas ao sol, apresentaram bebidas classificadas de rio/dura e rio, com características de fermentação. A derricha sobre o chão pode ter influenciado este resultado.

**Tabela 2.** Resultados da análise qualitativa do café

	Defeitos	Peneira (%)	Umidade (% b.u.)	Renda	Bebida
Teste 1	396	16-AC-84	13,6	23,4	1 R/4 duro fermentado
Teste 2	540	16-AC-81	14,1	23,9	duro
Teste 3	456	16-AC-80	12,9	24,6	duro
Testemunha 1	252	16-AC-77	13,6	24,5	1R/4 duro fermentado
Testemunha 2	252	16-AC-77	13,6	24,5	1R/4 duro fermentado
Testemunha 3	138	16-AC-78	14,2	25,2	Rio

Entretanto, a secagem mais rápida proporcionou bebida dura ao produto, conforme pode ser observado nos testes 1 e 2.

As temperaturas aproximadas do ar de secagem, de 102,8 e 82,6 °C, utilizadas nos testes 2 e 3 respectivamente, não influenciaram a qualidade da bebida do produto e apresentaram resultado superior àquele observado nas testemunhas correspondentes.

Observa-se que o número de defeitos foi superior no sistema de secagem em combinação, comparado com as testemunhas. Este fato pode ter sido causado pelo elevado índice de frutos verdes, submetidos à secagem em temperatura elevada, enquanto a testemunha foi secada ao sol, em bandeja suspensa, tendo a massa revolvida em intervalos regulares de 1 h. Os frutos verdes, se submetidos à secagem com temperatura elevada, adquirem a cor enegrecida, sendo que cada cinco grãos verdes pontuam um defeito, conforme Graner & Godoy Júnior (1967).

A variação observada no teor de água dos grãos (Tabela 2), em comparação com os resultados experimentais (Tabela 1), pode ter ocorrido pelo fato de ter utilizado o método de estufa durante a secagem e, durante as análises qualitativas, métodos indiretos de medição.

A variável renda estabelece a relação entre a massa de 40 kg de frutos secos com a massa resultante de grãos beneficiados. Observou-se que os valores obtidos nos tratamentos foram próximos aos obtidos com a testemunha, indicando que o processo de secagem não influenciou o rendimento.

## CONCLUSÕES

1. A secagem combinada, com meia-seca em camada fixa e a complementação desta secagem em secador de fluxos concorrentes, podem ser utilizadas para a secagem de frutos de café colhidos pelo método de derricha no chão, após serem lavados e separados os frutos pesados dos frutos “bóias”.

2. O sistema de secagem em lotes, intermitente, de fluxos concorrentes, não proporcionou estresse térmico aos frutos de café, secados à temperatura entre 82,6 e 102,8 °C, em comparação com os frutos secados ao sol.

3. A maior temperatura de secagem, para as mesmas condições iniciais de umidade dos frutos e mesma vazão de ar, proporcionou redução no tempo de secagem no secador de fluxos concorrentes.

4. Os frutos com teor de água próximo a 45% b.u. apre-

sentaram boa fluidez no secador de fluxos concorrentes.

5. Para o mesmo sistema de secagem e mesmas condições iniciais dos frutos de café, a maior temperatura aplicada ao ar de secagem proporcionou maior eficiência energética ao processo.

6. É possível secar frutos de café em secadores concorrentes com ar à temperatura entre 80 e 100 °C.

7. O secador de fluxos concorrentes, com intermitência no processo de secagem, não comprometeu a qualidade dos frutos de café, secados com ar à temperatura entre 80 e 100 °C.

## LITERATURA CITADA

- Baker-Arkema, F. W.; Lerw, L. E.; Brook, R. C.; Brooker, D. B. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. Michigan: ASAE, 1978. 14p. Paper n.3532
- Brasil. Ministério da Agricultura. Regras para análise de sementes. Brasília: DNPOV-DISEM, 1992. 365p.
- Brook, R. C.; Baker-Arkema, F. W. Concurrent flow drying of foods grains. East Lansing: Michigan State University, 1980.9p.
- Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; Hall, C. L. Drying cereal grain. Connecticut: The AVI Publishing, 1979. 269 p
- Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; Hall, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: AVI Book, 1992. 450 p.
- Ferraz, M. B.; Veiga, A. A. Secagem racional de café. 12p. (s. d.)
- Graner, E. A.; Godoy Junior, C. Manual do cafeicultor. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1967. 320 p.
- Hawak, A. L.; Noyes, R. T.; Westelaken, C. M.; Foster, G. H.; Baker-Arkema, F. W. The Present status of commercial grain drying. Logan: ASAE, 1978. 42 p. Paper n. 3008
- IBC – Instituto Brasileiro do Café. Cultura do café no Brasil: Manual de recomendações. 4 ed. Rio de Janeiro: Gráfica IBC – GERCA, 1981. 503 p.
- Jordão, B. A.; Okada, M.; Pulz, F. S.; Mori, E. E. M. Secagem do café no secador vitória: modificações do protótipo e avaliação posterior do café processado. Boletim do ITAL Campinas, v.17, n.2, p.121-123, 1980. Mühlbauer, W.; Kuppinger, H.; Isaccs, G. W. Design and operation conditions of single-stage concurrent flow and two-stage concurrent-counter flow grain dryers. Logan: ASAE, 1978. 28 p. Paper s. n.
- NAFM – National Association of Fan Manufacturers, Inc. Standard definitions, terms and test codes for centrifugal, axial and propeller fans. 2ed. Michigan, 1952. 34p. Bulletin n. 110;
- Ower, E.; Pankhurst, R. C. The measurements of air flow. 5.ed. New York: Pergamon Press, 1977. 363 p.
- Ravaglia, E. Projeto de um gerador de vapor de água. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Livros e Publicações do Grêmio Politécnico, 1965. 65p.
- Silva, J. de S. e; Lacerda Filho, A. F. de. Princípios de secagem de grãos. Viçosa: Centreinar, 1981. Série técnica, 15p
- Silva, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.416-444p.
- Silva, J. de S. e; Berbert, P. A. Colheita, secagem e armazenagem de café. Viçosa, Aprenda Fácil, 1999. 146p.
- Skaar, C. Water in wood. Syracuse, New York: Syracuse University Press, 1972. 218p.