

ADRIANA MARIA DE GRANDI

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SECAGEM DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.),  
EM SECADOR DE CAMADA FIXA VERTICAL  
COM REVOLVIMENTO MECÂNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
NOVEMBRO - 1999

ADRIANA MARIA DE GRANDI

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SECAGEM DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.),  
EM SECADOR DE CAMADA FIXA VERTICAL  
COM REVOLVIMENTO MECÂNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 26 de fevereiro de 1999.

---

Prof. Jadir Nogueira da Silva

---

Prof. José Helvecio Martins

---

Prof. Juarez de Souza e Silva  
(Conselheiro)

---

Prof. Pedro Amorim Berbert  
(Conselheiro)

---

Prof. Evandro de Castro Melo  
(Orientador)

Aos meus pais Altamir e Bernadete,  
pelo exemplo de vida e por mostrarem que  
a verdadeira felicidade somente se conquista com  
amor, incentivo e dignidade;  
a meu namorado Rui Alexandre, pelo  
carinho, pela paciência e apoio.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, fonte máxima de sabedoria, pela fé e pela força inesgotáveis.

Ao professor Evandro de Castro Melo, pela orientação, amizade, pelo estímulo e dedicação durante este curso.

Ao professor Pedro Amorim Berbert, pela amizade, dedicação e valiosas sugestões e contribuições para realização deste trabalho.

Ao professor Juarez de Souza e Silva, pelo apoio e pelas indispensáveis sugestões oferecidas para realização deste trabalho.

Aos professores Adílio Flauzino de Lacerda Filho, Jadir Nogueira da Silva e José Helvecio Martins, pela amizade e pelas sugestões apresentadas, contribuindo para o enriquecimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do curso de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida para realização do curso de mestrado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários Antônio (Inhame), José Raimundo (Zé Baixinho), Sebastião (Catitú) e Silas, pelo auxílio na manutenção do sistema de secagem e condução do experimento.

Aos colegas do curso de Engenharia Agrícola Francisco e Leonardo, pelo apoio, pela dedicação e pela colaboração durante a condução do experimento.

Ao empresário José Schequer, proprietário da Fazenda Boa Vista, por ceder o produto utilizado no experimento.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UFV, por ceder o carvão vegetal utilizado no experimento.

Aos meus irmãos Altamir, Andreia, Ana, Lindomar e Diego, à minha cunhada Eliane e ao meu sobrinho Davi José, pela alegria, pelo carinho e pela amizade.

Aos colegas Ana Paula Martinazzo, Andrea Hollmann, Eduardo Ferri Souto, Giovano Pretto, Glauco de La Rosa, Iratã Jorge dos Santos, Maria Joselma, Neri Zanolla, Patrícia Fontes Machado, Solenir Ruffato e Vítor Cabral, pela convivência amiga.

A todos os amigos, funcionários e professores do Departamento de Engenharia Agrícola que, de forma direta ou indireta, facilitaram e tornaram possível a realização deste curso.

## **BIOGRAFIA**

ADRIANA MARIA DE GRANDI, filha de Altamir Antônio De Grandi e Bernadete de Lourdes De Grandi, nasceu em Cascavel, Paraná, em 18 de outubro de 1974.

Em março de 1992, ingressou no curso de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - Campus Universitário de Cascavel, concluindo-o em dezembro de 1996.

Em março de 1997, ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Em 26 de fevereiro de 1999, submeteu-se à defesa de tese, logrando aprovação.

## CONTEÚDO

	Página
EXTRATO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. O café .....	4
2.1.1. Origem e expansão .....	4
2.1.2. Importância econômica e social .....	5
2.1.3. Qualidade, colheita e formas de processamento .....	6
2.2. Secagem de café .....	9
2.3. Secador de camada fixa .....	12
2.4. Avaliação de secadores .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1. O secador utilizado .....	17
3.2. Testes experimentais .....	21

	Página
3.2.1. Teor de umidade .....	21
3.2.2. Temperaturas e umidade relativa .....	22
3.2.3. Qualidade do produto .....	24
3.2.4. Combustível .....	25
3.2.5. Consumo específico de energia do secador .....	25
3.2.6. Eficiência de secagem .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1. Temperaturas e umidade relativa .....	28
4.2. Temperaturas e teores de umidade .....	32
4.3. Uso da energia .....	42
4.4. Classificação do produto .....	44
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
APÊNDICES .....	53
APÊNDICE A .....	54
APÊNDICE B .....	56



## EXTRATO

DE GRANDI, Adriana Maria, M.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 1999. **Avaliação da eficiência de secagem de café (*Coffea arabica* L.), em secador de camada fixa vertical com revolvimento mecânico.** Orientador: Evandro de Castro Melo. Conselheiros: Juarez de Souza e Silva e Pedro Amorim Berbert.

Com o objetivo de avaliar a eficiência de secagem e a redução das diferenças de teor de umidade e temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar na câmara de secagem, em um secador de camada fixa com sistema de revolvimento mecânico, foram conduzidos cinco testes de secagem, utilizando cinco diferentes intervalos de revolvimento do produto (2, 3, 4, 5 e 6 h). A temperatura do ar de secagem na massa de café foi controlada de forma a não ultrapassar 40°C, com fluxo de ar de 11,7 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. Os teores de umidade iniciais do produto foram diferentes em cada teste realizado. Com o intuito de avaliar a uniformidade da massa de grãos quanto ao teor de umidade, foram realizadas amostragens do produto em dois pontos de cada câmara de secagem, antes e depois de cada revolvimento realizado. Para avaliar a uniformidade de temperatura do ar de secagem na massa de grãos e no plenum foram instalados termopares ligados a um sistema de aquisição de dados, os quais registravam as temperaturas em intervalos de 10 min. Com os resultados obtidos verificou-se que as câmaras de secagem 1 e 4 apresentam

maior temperatura do ar de secagem na massa de grãos, evidenciando uma possível má distribuição do fluxo de ar no plenum do secador. A maior diferença de teor de umidade no sentido horizontal da câmara de secagem observada antes do revolvimento, foi para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h. A maior diferença de temperatura no sentido horizontal da câmara de secagem observada antes do revolvimento foi no teste com intervalo de revolvimento de 4 h. As menores diferenças tanto de teor de umidade quanto de temperatura no sentido horizontal da câmara de secagem, antes do revolvimento foram observadas no teste com intervalo de revolvimento de 2 h. A operação de revolvimento mostrou-se eficaz na diminuição das diferenças tanto de teor de umidade quanto de temperatura. O secador apresentou alto consumo específico de energia e baixa eficiência de secagem, devido, possivelmente, aos fatos de que a fornalha de aquecimento direto a carvão vegetal não estava adequadamente dimensionada para o secador utilizado, e que o fluxo de ar de secagem estava muito alto para a espessura de camada utilizada. O combustível utilizado para aquecimento do ar de secagem e demais procedimentos utilizados nos testes não influenciaram a qualidade do produto no que diz respeito ao "tipo" e "bebida".

## ABSTRACT

DE GRANDI, Adriana Maria, M.S., Universidade Federal de Viçosa, November 1999. **Evaluation of the drying efficiency of coffee (*Coffea arabica* L.) in a fixed-layer vertical dryer with mechanical revolving.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Committee Members: Juarez de Souza e Silva and Pedro Amorim Berbert.

Five drying tests were carried out using five different intervals for coffee revolving (2, 3, 4, 5 and 6) in order to evaluate the drying efficiency and the reduction of the differences in moisture content and temperature between the air entry and exit points at the drying chamber in a fixed layer dryer with mechanical revolving. The drying air temperature on coffee mass was controlled in such a way not exceeding 40°C with an air flow of 11.7 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. The initial moisture contents were different at each test. To evaluate the uniformity of the grain mass for moisture content the coffee samplings were performed at two points in the dryer chamber before and after each mechanical revolving. To evaluate the uniformity of the drying air temperature on the grain mass and plenum, the installation of thermocouples were performed by connecting them to a data acquisition system which registered the temperatures at 10 min intervals. According to the obtained results, the following were verified: the drying chambers 1 and 4 presented a higher drying air temperature on the grain mass, so evidencing a possibility for unsatisfactory distribution of the air flow at

the dryer plenum. The greatest difference for moisture content on the horizontal direction of the drying chamber was observed before grain revolving for the test with 5 h - revolving interval. The greatest difference for temperature on the horizontal direction of the drying chamber was observed before grain revolving for the test with the 4 h - revolving interval. The lowest differences for either moisture content and temperature on the horizontal direction of the drying chamber was observed before grain revolving for the test with 2 h - revolving interval. The grain revolving operation showed to be efficient in diminishing the differences for either moisture content and temperature. The dryer presented high specific energy consumption as well as low drying efficiency probably because the directly heating charcoal furnace was not adequately dimensioned to the used dryer and also the drying air flow was very high for the thickness of the used layer. The fuel used for heating the drying air and the other procedures used in the tests did not influence the product quality relatively to their “type” and “drinking.”

## 1. INTRODUÇÃO

Analisando-se a história do Brasil, verifica-se que a cultura do café teve grande influência na colonização e desenvolvimento do país e assume atualmente um importante papel econômico e social. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. Até 1960, o país era responsável por cerca de 70% do mercado mundial, mas, atualmente, esta participação caiu muito, para cerca de apenas 20% em 1995 (TÔRRES, 1997). Em todo o país, aproximadamente 10 milhões de pessoas se envolvem direta ou indiretamente com a cultura do café, desde a produção até a comercialização e industrialização. São pelo menos 1.700 municípios produtores de café, com 300.000 cafeicultores, 450 empresas com registro para exportação e 1.300 indústrias de torrefação e moagem (CARVALHO et al., 1997; SILVA et al., 1997).

Porém, além de a cafeicultura brasileira estar atualmente com menor participação no mercado internacional, o referido produto é um dos poucos produzidos no Brasil que tem seus preços baseados em parâmetros qualitativos e, atualmente, vem recebendo um valor menor em relação ao produzido em outros países, devido, principalmente, à sua qualidade inferior (TÔRRES, 1997). Para obtenção de um café de boa qualidade é necessário o emprego de técnicas adequadas, desde o plantio até o beneficiamento, o que envolve várias operações unitárias. A execução racional destas operações

permitirá a obtenção de um produto que reúne as características de tipo e qualidade exigidas durante a fase de comercialização.

A secagem é uma das etapas mais importantes durante o processamento pós-colheita e, se for conduzida indevidamente, poderá acarretar prejuízos ao cafeicultor. Por exemplo, se o café for seco em demasia, terá sua massa final afetada, com aparecimento de grãos quebrados (grãos supersecos quebram no beneficiamento) e ainda gastos desnecessários com mão-de-obra e consumo excessivo de combustível na secagem (PINTO FILHO, 1994).

O café pode ser processado de duas diferentes formas: por via seca e por via úmida. Na forma de preparo por via seca, o fruto é seco na sua forma integral (com casca), enquanto na forma de preparo por via úmida o café é despulpado. Esta última é a forma indicada para regiões que apresentam problemas quanto à qualidade, como é o caso da Zona da Mata de Minas Gerais (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997). Segundo SILVA et al. (1995), vem crescendo no país o número de produtores de café “despulpado” (via úmida), o que poderá colocar o Brasil, em futuro próximo, como produtor de café com verdadeiro aroma natural.

No Brasil, o processo de secagem artificial em secadores teve maior impulso somente a partir da década de 70, com o aparecimento dos secadores mecânicos de grande porte, que visavam otimizar o processamento dos grandes volumes de grãos que passaram a ser produzidos. Antes desta época a maioria dos produtos era seca no próprio campo ou em terreiros, expostos diretamente à radiação solar (SILVA et al., 1995).

A secagem em terreiro, além de requerer um tempo relativamente longo para realização do processo, apresenta outras desvantagens como a necessidade de grandes áreas para a construção dos terreiros, excessiva mão-de-obra e, muitas vezes, o produto fica exposto a condições climáticas adversas, favorecendo o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, que depreciam sua qualidade (CAMPOS, 1998; CORDEIRO, 1982; CORRÊA, 1982).

Apesar dos problemas citados, a secagem em terreiros é ainda muito utilizada, principalmente por pequenos e médios produtores, que não possuem poder aquisitivo para implantação de um sistema de secagem artificial ou são,

em sua maioria, resistentes às inovações tecnológicas, devido ao baixo nível educacional em que normalmente se encontram (ROSSI e ROA, 1980). Para tais produtores, LACERDA FILHO (1986) afirma que os secadores de leito fixo são os mais acessíveis, pois, além de se tratar de um método de secagem relativamente simples, possui custo inicial de implantação relativamente baixo.

O revolvimento da massa de grãos no secador de camada fixa, em intervalos regulares de tempo, é recomendado para evitar os problemas que tais secadores apresentam quanto à formação de gradientes de temperatura e de teor de umidade do produto ao longo da camada, na direção do fluxo do ar de secagem. Porém, tal operação quando realizada mecanicamente poderá tornar-se um processo de custo muito elevado para o produtor, por isso, normalmente é feito de forma manual, o que requer grande esforço físico por parte do operador, principalmente no início da secagem, quando o produto encontra-se ainda com alto teor de umidade. Para boa parte dos agricultores, o revolvimento manual do produto tem trazido problemas no que se refere à contratação de mão-de-obra, visto que o operador, normalmente, não se dispõe a executar essa tarefa.

Para solucionar o problema de revolvimento manual, CAMPOS (1998) desenvolveu um secador de camada fixa com sistema de revolvimento mecânico da massa de café no interior da câmara de secagem. Porém, o autor verificou apenas as características operacionais do secador proposto. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo testar o secador mencionado utilizando-se café descascado, visando avaliar a eficiência do processo de secagem e a redução da diferença de temperatura e de teor de umidade nos pontos de entrada e saída do ar de secagem na câmara para diferentes condições de secagem e intervalos de revolvimento.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O café

#### 2.1.1. Origem e expansão

O *Coffea arabica* L. é o nome científico da principal espécie cultivada de café, que teve sua origem nas regiões montanhosas da atual Etiópia, no Continente Africano. A Etiópia situa-se no Nordeste da África, entre 5 e 15° de latitude Norte e limita-se ao Norte com o Mar Vermelho, e Leste e Sudeste com a Somália, ao Sul com o Quênia e a Oeste com o Sudão (ARAÚJO, 1996).

As primeiras culturas familiares de café foram estabelecidas na própria Etiópia ou no Yemen, na região situada ao sul da Península Arábica. Consta que os árabes utilizavam os frutos de café no preparo de bolos e de uma infusão e teriam sido os responsáveis pelo início da difusão do uso do café como bebida estimulante.

A partir da Arábia, o consumo do café difundiu-se pelo Oriente, chegando até a Turquia. Da Turquia ganhou a Europa. Em 1671, em Marselha, surgiu o primeiro café aberto ao público. Da Europa o consumo expandiu-se para praticamente todo o Mundo.

Paralelamente à difusão do consumo ocorriam as tentativas de cultivo comercial. Assim, da Arábia foi levado ao Ceilão e à Índia, onde os primeiros



plantios datam de 1600. Entretanto, o cultivo na Índia teve maior impulso somente a partir de 1840 quando os ingleses passaram a se interessar por ele.

Em 1706, o Jardim Botânico de Amsterdan recebeu alguns exemplares de cafeeiro, precedentes de Java. Essas mudas, cujas sementes foram levadas para a Guiana Holandesa, hoje Suriname, e depois para a Ilha de Martinica, deram origem à cafeicultura nas Américas.

No Brasil, a primeira tentativa de introdução do café data de 1723, quando foi trazido da Guiana Francesa para Belém. Essa tentativa, entretanto, fracassou.

Em 1727, o Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta, viajando em missão oficial a Caiena, conseguiu trazer algumas sementes que foram plantadas em Belém do Pará. Em seguida, foi plantado no Maranhão e daí se irradiou aos estados vizinhos. Entre 20 e 40 anos depois já haviam plantios no Ceará, Paraíba, Pernambuco e Bahia.

A introdução no Rio de Janeiro foi feita em 1779 pelo desembargador João Alberto de Castelo Branco, no Convento dos Barbudinhos. Daí propagou-se para São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. De São Paulo propagou-se para o Paraná, entre 1928 e 1930.

No Brasil o café teve melhor adaptação nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná por onde estendeu-se derrubando a mata, abrindo estradas, fixando povoações e criando riquezas.

De acordo com ARAÚJO (1996), o café é atualmente cultivado na América Latina, África, Ásia e Oceania, em mais de 70 regiões da zona tropical. Esta é ultrapassada somente na Ilha de Formosa (Hemisfério Norte) e em Moçambique e no Sul do Brasil (Hemisfério Sul).

### **2.1.2. Importância econômica e social**

O negócio café é um dos maiores do mundo. Segundo a Organização Internacional do Café (OIC), o valor do giro anual, em nível de varejo, da cadeia agroindustrial do café foi, em 1992, superior a US\$ 33 bilhões. Este valor constitui-se do preço da matéria prima acrescido do valor adicionado pelo processamento e distribuição até o consumidor final (ARAÚJO, 1996).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, destinando cerca de 75% de seu café à exportação. Até meados deste século, o país era responsável por cerca de 70% do mercado mundial, em 1961 por cerca de 37%, e em 1995 esta participação caiu para apenas 20%. Em todo o país, aproximadamente 10 milhões de pessoas estão envolvidas direta ou indiretamente com a cultura do café, desde a produção até a comercialização e industrialização. Somente na safra 94/95 a receita cambial gerada pelo café na economia nacional foi superior a 2,5 bilhões de dólares, correspondendo, aproximadamente, a 6% das exportações brasileiras (CARVALHO et al., 1997; SILVA et al., 1997; TÔRRES, 1997).

Vale ressaltar que o Estado de Minas Gerais é o líder na produção cafeeira do Brasil, com cerca de 50% da safra, e uma produção de 10,9 milhões de sacas beneficiadas somente nas safras de 95/96 (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FAEMG, 1996).

Segundo RAMOS (1997), o Brasil é também o segundo maior consumidor de café, acredita-se que dos 155 milhões de brasileiros, 60 a 70% bebem café diariamente. Somente em 1995 o consumo interno foi da ordem de 10 milhões de sacas beneficiadas, equiparando-se às exportações do produto para os Estados Unidos, Alemanha, Itália, Japão e França.

### **2.1.3. Qualidade, colheita e formas de processamento**

O café é um dos poucos produtos agrícolas produzidos no Brasil que tem seu preço baseado em parâmetros qualitativos, porém recebe pelo mesmo um valor menor em relação ao café produzido em países como a Colômbia e o Quênia, devido, principalmente, à sua qualidade inferior. A realidade atual da cafeicultura brasileira indica que a agroindústria nacional tem capacidade de abastecer os mercados interno e externo com um produto de qualidade, dependendo apenas de estímulos para revitalização da cultura em busca de produtividade e qualidade. Isto, de certa forma, ocorreu com a criação do selo de pureza em 1989 pela Associação das Indústrias de Torrefação e Moagem de Café (ABIC).

Para obtenção de um café de boa qualidade é necessário o emprego de técnicas adequadas, desde o plantio até o beneficiamento, o que envolve

várias operações unitárias. A execução racional destas operações permite a obtenção de um produto que reúne as características de tipo e qualidade exigidas durante a fase de comercialização. Com um produto de boa qualidade, o cafeicultor tem as seguintes vantagens (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC, 1985):

- a) Maior facilidade na colocação do produto, tanto no mercado interno como no externo; e
- b) Obtenção de preços mais elevados por saca produzida.

A boa qualidade do café depende, em grande parte, do sistema de colheita. Os cafés de maior renome no mundo, como os da Colômbia, Costa Rica e El Salvador, são obtidos mediante colheita a dedo dos frutos maduros em estágio de cereja, posteriormente submetidos a processo de despulpamento (BÁRTHOLO et al., 1989).

No Brasil, a colheita deve ser iniciada quando a maior parte dos frutos estiverem maduros. Os frutos colhidos verdes, além de prejudicarem o aspecto, a torração, o tipo e a bebida, causam prejuízos por demorarem mais tempo no processo de secagem que os frutos maduros. Quanto mais tempo o café permanecer na árvore ou no chão, maior será a incidência de grãos ardidos e pretos, causando perda de massa seca e qualidade (VILELA, 1997).

O período de colheita varia de região para região, em função da altitude, latitude e condições climáticas locais. Quanto maior a altitude e menor a temperatura numa mesma latitude, mais retardada será a maturação. A ocorrência de estação chuvosa durante a fase de maturação também prolonga o período de colheita (IBC, 1985). Na maioria das regiões produtoras em nosso país, a maturação se dá em fins de março e começo de abril, podendo prolongar-se por um período variável (CAMPOS, 1998).

A operação de colheita pode ser realizada das seguintes formas:

- a) Derrixa ao chão: processo pelo qual os frutos são derrubados diretamente no chão previamente limpo;
- b) Derrixa ao pano: o café é derrubado em panos ou plásticos previamente colocados sobre o chão, a fim de evitar o contato do mesmo com a terra;

- c) A dedo: operação na qual são colhidos apenas os frutos maduros. É realizada geralmente em regiões onde o florescimento ocorre o ano todo, como na Colômbia. A qualidade final deste café é, geralmente a melhor; e
- d) Mecânica: Indicada principalmente para regiões onde existe dificuldade de mão-de-obra e onde a topografia plana permite o uso da máquina (MALAVOLTA, 1993).

Realizada a colheita, o café passa a ser processado, o que pode ser realizado de duas formas, por via seca e por via úmida. Na forma de preparo por via seca, o fruto é seco na sua forma integral (com casca), enquanto que na forma de preparo por via úmida, o café é despulpado ou descascado. Esta última é a forma indicada para regiões que apresentem problemas quanto à qualidade, como é o caso da Zona da Mata mineira (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

A forma de processamento mais utilizada no Brasil ainda é aquela por via seca, porém, vem aumentando cada vez mais o número de produtores de café despulpado. Tal processo consiste na retirada da casca do fruto maduro ou cereja após a lavagem, com posterior fermentação da mucilagem, substrato adequado para o desenvolvimento de microorganismos, que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto. O despulpamento do café é um processo bastante comum entre os produtores da América Central, México, Colômbia, Quênia e África e, quando bem preparado, apresenta bebida suave, mole ou estritamente mole, seja qual for a região produtora, alcançando boas cotações no mercado (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

Segundo GUARÇONI (1995), na classificação do café beneficiado, a avaliação da qualidade compreende dois parâmetros principais: a) a classificação por tipo (defeitos) e b) a classificação pela bebida.

Quanto ao tipo, o café é classificado segundo seu aspecto e quantidade de defeitos. O aspecto é influenciado pela coloração dos grãos, que pode ser prejudicada pelo contato do café com a terra e por uma secagem drástica ou desuniforme. Os defeitos provêm de grãos imperfeitos ou de impurezas, que podem ser a presença de pergaminho, pedaços de pau, pedras, cascas e terra. A classificação por tipo admite sete tipos de valores de

dois a oito, resultantes da apreciação de uma amostra de 300g de café beneficiado. A cada tipo corresponde um maior ou menor número de impurezas, defeitos ou grãos imperfeitos (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997; CARVALHO e CHALFOUN, 1985).

Segundo CAMPOS (1998), a classificação quanto à bebida tem como base o gosto e o cheiro que o café apresenta na prova de xícara. A qualidade da bebida é influenciada pela presença de grãos verdes, pretos ou ardidos, ou ainda, pela ocorrência de fermentações nos frutos durante a colheita ou preparo.

A bebida padrão é a bebida “mole”, que se traduz num gosto agradável, brando e doce. A partir da bebida mole as demais podem ser classificadas da seguinte forma (ARAÚJO, 1996).

- Estritamente mole: possui os mesmos requisitos da bebida mole, porém com aroma e sabor mais acentuados;
- Apenas mole: bebida de sabor suave, com leve adstringência;
- Dura: apresenta gosto ácido e adstringente;
- Riada: bebida que apresenta leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico;
- Rio: apresenta sabor forte e desagradável de iodofórmio ou ácido fênico; e
- Rio zona: bebida de sabor e odor intoleráveis ao bom paladar e ao olfato.

## **2.2. Secagem de café**

A secagem é uma das etapas mais importantes durante o processamento pós-colheita e se for conduzida indevidamente poderá acarretar prejuízos ao cafeicultor. Basta dizer que se um café for seco em demasia terá sua massa final afetada, com aparecimento de grãos quebrados (grãos ressecados se quebram no beneficiamento) e ainda gastos desnecessários com mão-de-obra, pois o café já poderia estar recolhido na tulha, evitando-se desperdício de esparramações e amontoas no caso de secagem em terreiro, gastos com energia no processamento, assim como tempo (PINTO FILHO, 1994).

No processo de secagem ocorre a evaporação da umidade que se encontra na superfície exposta do grão. A umidade contida no interior do grão se move para a superfície. Diversas teorias têm sido propostas para descrever

os mecanismos de movimento da umidade no interior do grão durante o período de secagem. Mas, geralmente, concorda-se que o fluxo de umidade ocorre devido à difusão do líquido e, ou, vapor (BRINKWORTH e NUH, 1997).

De acordo com BROOKER et al. (1992), a secagem é uma operação crítica na seqüência colheita - secagem - armazenamento - processamento - transporte. Geralmente delega-se impropriamente à secagem a maior causa de deterioração de grãos nessa série de processos.

O fruto maduro do café é altamente perecível devido ao elevado teor de umidade com que é colhido (cerca de 60 a 70% b.u.), propiciando o desenvolvimento de fungos na superfície dos frutos, ocasionando o aumento da taxa de respiração e elevando a temperatura da massa, com posterior fermentação, que provoca o aparecimento de grãos beneficiados ardidos e pretos, por isso, faz-se necessário que o processo de secagem se inicie logo após a colheita (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997; CORRÊA, 1982).

De acordo com VILELA (1997) a secagem do café é um processo mais lento e complexo que a de outros produtos agrícolas devido a características tais como:

- a) Teor de umidade elevado (60 a 70% b.u.) na colheita;
- b) Mistura heterogênea: grãos com diferentes teores de umidade e graus de maturação, cujas proporções variam durante a colheita;
- c) Estrutura complexa do fruto: camadas de diferentes tecidos e teores de umidade, com polpa e mucilagem muito úmidas (cerca de 85%) e, logo após, um tecido celulósico duro (pergaminho), que encobre uma semente com cerca de 50% de umidade;
- d) Redução do volume durante a secagem (30 – 40%); e
- e) Tamanho desuniforme dos frutos.

A secagem pode ser realizada basicamente de três diferentes formas: em terreiros, mecânica em secadores ou ainda combinando secagem em terreiros e secadores.

A escolha de um método de secagem depende do nível tecnológico do produtor, da possibilidade de investimento, do volume de produção, das condições climáticas da região e da disponibilidade de áreas livres quando da construção de terreiros (VILELA, 1997).

Nos terreiros, a secagem é realizada em camadas de reduzida profundidade, com revolvimento do produto em determinados intervalos de tempo. Os terreiros podem ser de chão batido, cimento ou asfalto. Neste método, o tempo requerido para a secagem é, geralmente, maior que em secadores mecânicos, podendo variar entre 15 e 25 dias, dependendo das condições climáticas da região.

A secagem em terreiro, além de requerer um tempo relativamente longo para realização do processo, apresenta outras desvantagens como a necessidade de grandes áreas para a construção dos terreiros, excessiva mão-de-obra e, muitas vezes, o produto fica exposto a condições climáticas adversas, favorecendo o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, que depreciam sua qualidade (CAMPOS, 1998; CORDEIRO, 1982; CORRÊA, 1982).

O uso de secadores artificiais, de maneira geral, intensificou-se a partir da Primeira Grande Guerra Mundial e tornou-se prática rotineira a partir da Segunda Grande Guerra Mundial (CARVALHO, 1994; HALL, 1980). Os aspectos que levaram ao desenvolvimento de secadores artificiais, foram as grandes quantidades de grãos produzidos, que exigiam rápidas colheitas e armazenamento de grandes volumes, bem como os aperfeiçoamentos constantes da Engenharia Mecânica e das técnicas de cruzamento entre plantas visando ao melhoramento genético (CARVALHO, 1994).

No Brasil, o processo de secagem artificial em secadores teve maior impulso somente a partir da década de 70, com o aparecimento dos secadores mecânicos de grande porte, que visavam otimizar o processamento dos grandes volumes de grãos que passaram a ser produzidos a partir desta época (SILVA et al., 1995).

NELLIST e BRUCE (1995) afirmam que os secadores mecânicos possuem alto requerimento de potência. A maior parte da energia (entre 95 e 97%) é usada sob a forma de calor.

Os secadores mecânicos atualmente utilizados na secagem de café são, em sua grande maioria, adaptações de modelos desenvolvidos para a secagem de cereais e oleaginosas com baixo teor de umidade inicial. Em decorrência disto apresentam, entre outros problemas, alto custo operacional e baixa eficiência energética.

A utilização de secadores que possuem equipamentos tradicionais de transporte de grãos ou que necessitam de certa fluidez do produto não é recomendada para café quando este apresenta teor de umidade superior a 40% b.u.. Recomenda-se, neste caso, que a secagem seja executada numa primeira etapa em terreiros ou em secadores de camada fixa convencionais até a meia-seca, sendo então completada a secagem em secadores mecânicos (PINTO FILHO, 1994).

Os secadores mais utilizados para café têm sido: secador vertical de fluxo cruzado com câmara de descanso, secador cilíndrico rotativo e os secadores de camada fixa (VILELA, 1997).

### **2.3. Secador de camada fixa**

A secagem de café em camada fixa é um método relativamente simples, cujo custo inicial de implantação está ao alcance de grande parte dos pequenos e médios produtores de café (SILVA e LACERDA FILHO, 1993).

O método consiste em depositar o café na câmara de secagem sobre uma chapa perfurada, cuja altura do produto pode variar de 0,15 a 0,50 m. Deve-se realizar o revolvimento do produto em intervalos de tempo pré-determinados, a fim de uniformizar o teor de umidade e a temperatura. Tal operação é feita por um operador que revolve o produto utilizando-se de uma pá (VILELA, 1997; SILVA et al., 1995).

De acordo com BROOKER et al. (1992), no processo de secagem em camada fixa, o ar de secagem move-se do fundo para o topo da camada de grãos. Trocas de umidade do grão para o ar tomam lugar em uma camada definida de grãos, conhecida como frente de secagem. No início do processo, a frente de secagem localiza-se na parte inferior da camada. À medida que a secagem prossegue, a frente move-se para cima, e, quando esta passa por toda a camada, toda massa é seca até atingir o teor de umidade final desejado.

Segundo Pierce e Thompson, citados por BERBERT (1991), na secagem convencional em camada fixa a temperatura do ar deve ser mantida em níveis relativamente baixos, minimizando a supersecagem nas camadas inferiores. O aumento da vazão de ar, visando diminuir o gradiente de umidade da massa de grãos, é limitado pela capacidade do ventilador. Quanto maior a



espessura da camada de produto, menor deverá ser a temperatura do ar de secagem e maior deverá ser a vazão do ar. Essas limitações da secagem em camada fixa são semelhantes à secagem com fluxos cruzados.

IBC e Andrade, citados por CAMPOS (1998), recomendam que para a obtenção de um café de boa qualidade é aconselhável proceder a secagem com temperaturas não superiores a 45°C na massa de café, recomendação feita também por VILELA (1997).

CORRÊA et al. (1994), analisando a secagem de café em camada fixa, para temperaturas do ar de secagem de 40, 50 e 60°C, concluíram que na temperatura de 40°C, a massa de grãos apresentou maior uniformidade no teor de umidade final ao longo da camada, enquanto que aquelas, junto a entrada do ar de secagem, ficaram supersecas.

CASTRO (1991) relata que o café despulpado possui, no início da secagem teor de umidade em torno de 50% b.u. e que a temperatura ideal de secagem é em torno de 45°C, para se obter um produto de bebida suave.

O revolvimento da massa de grãos no secador de camada fixa em intervalos regulares de tempo, de acordo com a sugestão feita para o secador em uso, é recomendado para evitar os problemas que tais secadores apresentam quanto aos gradientes de temperatura e de teor de umidade do produto ao longo da camada no sentido do fluxo do ar de secagem. Porém, tal operação requer grande esforço físico por parte do operador, principalmente no início da secagem, quando o produto encontra-se ainda com alto teor de umidade. Para boa parte dos agricultores, o revolvimento manual do produto tem trazido problemas no que se refere à contratação de mão-de-obra, visto que o operador, normalmente, não se dispõe a executar esta tarefa.

CASTRO (1991), estudando intervalos de revolvimento na secagem de café despulpado em secador de camada fixa, não constatou influência significativa do intervalo de revolvimento (1, 2 e 3 h) da massa de grãos sobre o gradiente de umidade, e recomenda utilizar intervalos da ordem de 3 h.

SILVA e LACERDA FILHO (1993), que foram os pioneiros na utilização do secador de camada fixa, também recomendam o revolvimento periódico da massa de café em intervalos regulares de 3 h, salientando que este não compromete a qualidade do produto e exige menor esforço físico do operador do que intervalos de revolvimento menores.

## 2.4. Avaliação de secadores

Conforme a agricultura no Brasil ganha importância, a subsistência torna-se passado, a agricultura empresarial toma força e dá novos rumos a este segmento econômico. A globalização da economia e a atual política de preços, imposta aos produtos agrícolas, levam os produtos a análises mais detalhadas do sistema. Num contexto de alto custo de energia e baixos preços dos produtos agrícolas, torna-se indispensável considerar as relações entre consumo de energia e as qualidades inerentes ao produto, antes e após o processamento (LACERDA FILHO, 1998).

Hall, citado por BAKKER-ARKEMA et al. (1978), definiu três expressões para a eficiência de energia nos processos de secagem, ou seja, eficiência de combustível, eficiência térmica e eficiência de secagem. A eficiência de combustível é a razão entre a energia utilizada na evaporação da água e a energia fornecida ao sistema. A energia total corresponde a soma de energia para aquecer o ar, operar o secador, resfriar e movimentar o produto, a partir de determinadas condições iniciais. A eficiência térmica é a razão entre o calor utilizado na secagem e o calor fornecido, relacionando-se apenas o processo térmico.

De acordo com NELLIST e BRUCE (1992), as principais razões para testar secadores de grãos são:

- a) auxiliar no desenvolvimento de protótipos;
- b) confirmar as especificações de desempenho; e
- c) prover informações para a comercialização e orientação de operadores.

Os mesmos autores afirmam que o progresso da secagem em um secador com ar aquecido é afetado pelas interações entre diversas variáveis, algumas das quais estão sujeitas a consideráveis variações, que são incontroláveis. Condições ambientais, por exemplo, sofrem mudanças continuamente e contribuem em parte para as flutuações na temperatura do ar aquecido.

Para a instrumentação, são necessários sensores para temperatura ambiente, umidade relativa, temperatura do ar no ponto de entrada dos grãos e consumo de energia. As análises de teor de umidade e qualidade dos grãos

são feitas sob condições de laboratório, através de amostras coletadas na entrada e saída do produto. Quando se necessita mais do que os dados básicos na avaliação do desempenho de um secador, torna-se necessária a instalação de sensores adicionais para medir fluxo de ar, temperatura e umidade do ar de exaustão e pressão estática.

Para os secadores de camada fixa, as leituras devem ser feitas durante um ciclo de secagem, e as amostragens realizadas no carregamento e na descarga do secador. A escolha dos pontos de amostragem, assim como o tratamento correto na divisão das amostras em subamostras para avaliação da qualidade dos grãos e determinação do teor de umidade, é vital para a precisão dos resultados (NELLIST e BRUCE, 1992).

De acordo com NELLIST e BRUCE (1992), o procedimento para o teste de um secador de camada fixa pode ser resumido da seguinte maneira:

- a) carregar o secador e registrar sua capacidade;
- b) fixar a temperatura de secagem;
- c) iniciar a operação de secagem de acordo com os procedimentos recomendados;
- d) fazer os ajustes iniciais, fixar as condições de secagem e iniciar a obtenção dos dados;
- e) durante o período de teste, manter regular as leituras dos sensores, perfazendo um mínimo de 12 leituras; e
- f) ao atingir a umidade pré-determinada, proceder ao resfriamento dos grãos, fazer a operação de descarga e determinar a massa de produto final.

BAKKER-ARKEMA et al. (1978) propuseram uma metodologia para a avaliação do desempenho de secadores. Esta metodologia é baseada em um número reduzido de testes de campo, sob determinadas condições padronizadas (Quadro 1). Vários autores têm se baseado nesta metodologia para a avaliação de protótipos de secadores (OSÓRIO, 1982; SABIONE, 1986; SILVA et al., 1991; PINTO FILHO, 1994).

Quadro 1 - Parâmetros e especificações do secador requeridos para a avaliação do desempenho

Parâmetros	Unidade
<b>Parâmetros dos grãos</b>	
• tipo de grão	-
• teores de umidade inicial e final	% b.u.
• temperaturas inicial e final	°C
• percentagens de impurezas inicial e final	%
• massas específicas globais inicial e final	kg.m <sup>-3</sup>
• massa do produto úmido	kg
• índices de qualidade	-
<b>Parâmetros do ar</b>	
• temperatura do ar de secagem	°C
• temperatura de bulbo seco do ar ambiente	°C
• umidade relativa do ar ambiente	%
<b>Especificações do secador</b>	
• densidade do fluxo de ar	m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>
• volume total	m <sup>3</sup>
• tempo de secagem	h
• tempo de resfriamento	h
• espessura da coluna de secagem	m
• pressão estática	mm.c.a.
• tempo de carregamento	min
• tempo de descarga	min
<b>Uso de energia</b>	
• ventilador e transportadores	kWh.lote <sup>-1</sup>
• tipo de combustível e quantidade utilizada por lote	kg
<b>Dados do desempenho</b>	
• duração do teste	h
• volume do produto úmido	m <sup>3</sup>
• pontos percentuais de umidade removida	% b.u.
• capacidade de secagem	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> de produto úmido
• capacidade de secagem	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> de produto seco
• eficiência energética de secagem, excluindo a energia elétrica	kJ.kg <sup>-1</sup> de água evaporada
• eficiência energética de secagem, incluindo a energia elétrica	kJ.kg <sup>-1</sup> de água evaporada

Fonte: BAKKER-ARKEMA et al. (1978).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado no Setor de Pré-Processamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, situada no município de Viçosa, Minas Gerais.

O produto utilizado foi café (*Coffea arabica* L.) descascado, da variedade Catuaí, procedente da fazenda Boa Vista, situada no município de Coimbra, Minas Gerais. A colheita do produto aconteceu entre os meses de maio e junho de 1998 pelo sistema de derricha ao pano, com teor de umidade de aproximadamente 60% b.u., procedendo-se, em seguida, a lavagem e o descascamento do mesmo.

O café foi submetido a uma pré-secagem, em terreiro, de 3 a 5 dias, sendo então transportado para o Setor de Pré-Processamento de Produtos Vegetais da UFV para realização dos testes de secagem.

#### **3.1. O secador utilizado**

Utilizou-se um secador de camada fixa para café com sistema de revolvimento mecânico, que foi desenvolvido e testado por CAMPOS (1998), sendo construído em alvenaria, com câmaras de secagem confeccionadas em chapas de aço-carbono de 0,002 m de espessura.

O secador é composto, basicamente, das seguintes partes:

a) *Câmaras de secagem*: em número de quatro, construídas com chapas metálicas n.º 14. Podem ser divididas em três regiões para melhor compreensão de seu funcionamento. A primeira região (A, da Figura 1) é o local onde se situa a camada de grãos que é submetida ao fluxo de ar de secagem. Essa camada de grãos fica compreendida entre duas chapas com 25% de perfuração, sendo a área de cada uma igual a  $1 \text{ m}^2$  ( $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ). Uma destas chapas perfuradas fica em contato com o “plenum”, por onde entra o ar de secagem. A outra chapa perfurada é disposta externamente à câmara e é por onde sai o ar de secagem contendo a umidade retirada do produto. A coluna de grãos, compreendida entre as chapas, tem uma espessura de 0,30 m, perfazendo desta forma um volume de  $0,30 \text{ m}^3$ . A segunda região (B, da Figura 1) tem uma altura aproximada de 0,20 m, correspondendo a um volume de  $0,08 \text{ m}^3$ . A altura da massa de grãos contida nessa região varia com o decorrer da secagem, devido ao adensamento e à redução do volume do produto que ocorrem durante o processo. Essa região funciona como uma câmara de descanso para o volume de café que ali se encontra. Outra finalidade desta camada de produto é criar uma pressão estática de forma a garantir que só passe ar através do produto entre as chapas perfuradas. A terceira região (C, da Figura 1) é o local destinado ao revolvimento dos grãos. Para possibilitar uma melhor mistura do café (Figura 2), esta região possui um maior volume ( $0,4 \text{ m}^3$ ). O volume total de cada câmara de secagem é, portanto, de  $0,775 \text{ m}^3$ . As câmaras são posicionadas verticalmente em relação ao “plenum” e os eixos de sustentação se apoiam em mancais, permitindo que estas câmaras possam ter um movimento giratório (Figura 2). Este movimento tem a finalidade de promover a movimentação e o revolvimento do café dentro das câmaras de secagem.

b) *Câmara “plenum”*: espaço vazio, com finalidade de uniformizar a distribuição do fluxo de ar quente para as quatro câmaras de secagem. Este “plenum” tem uma base retangular ( $1,80 \times 3,00 \text{ m}$ ), sendo que sua seção transversal tem a forma de M (Figura 2). Seu volume interno é de  $3,53 \text{ m}^3$ .

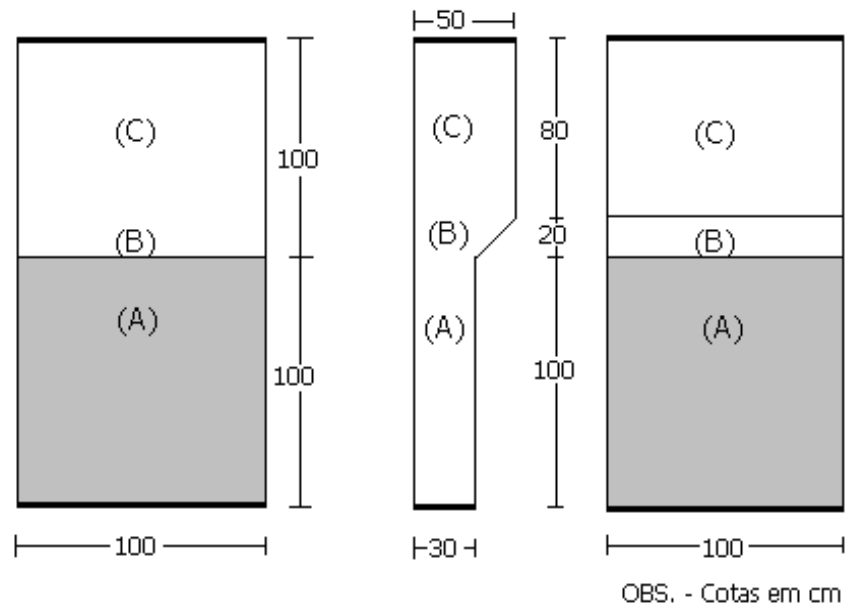


Figura 1 - Vistas posterior, lateral e frontal da câmara de secagem, e respectivas dimensões.

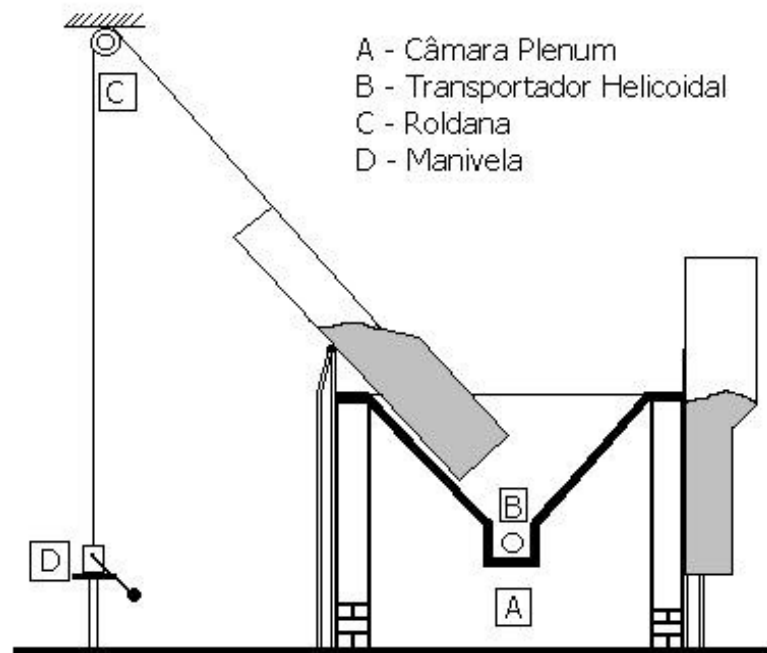


Figura 2 - Operação de revolvimento do produto.

c) *Expansão*: elemento de transição entre o ventilador e a câmara “plenum”, que tem a finalidade de uniformizar o fluxo de ar no secador (Figura 3). O ângulo de abertura da expansão, em relação ao eixo de simetria do secador, deve ser superior a 15° e inferior a 45° (DALPASQUALE et al., 1991; SILVA e LACERDA FILHO, 1993). No secador em estudo, utilizou-se um ângulo de 28°. Dessa forma, o elemento de transição teve um comprimento de 1,40 m. A junção da expansão com a câmara “plenum” foi feita por meio de lajotas perfuradas, visando garantir distribuição uniforme do fluxo de ar.

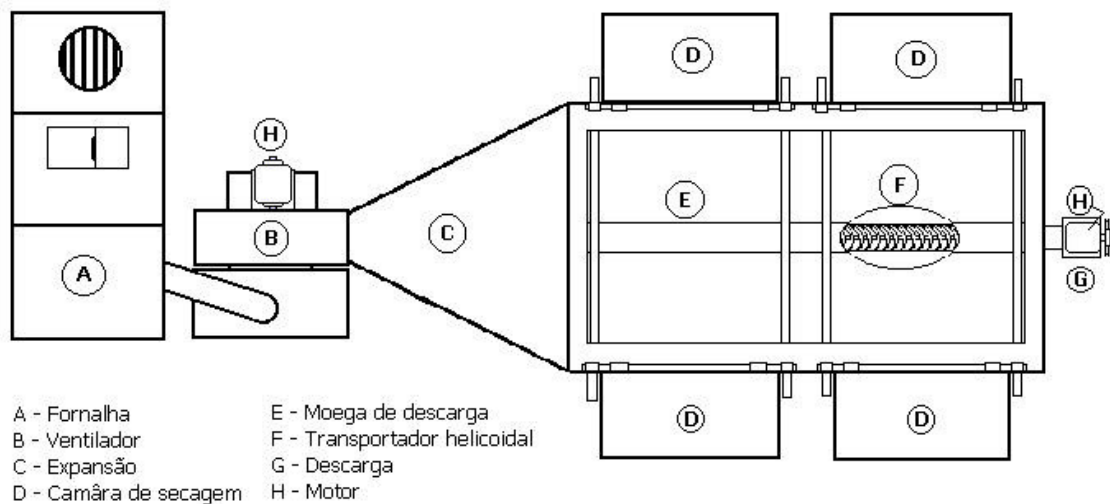


Figura 3 - Vista superior do sistema de secagem.

d) *Ventilador* (B, da Figura 3): com uma potência de 2 cv e vazão de 46,7 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>, sua finalidade é succionar o ar quente da fornalha e forçá-lo através da massa de grãos nas quatro câmaras de secagem.

e) *Fornalha* (A, da Figura 3): Foi utilizada uma fornalha de fogo direto desenvolvida e testada por SILVA (1998), que utiliza carvão vegetal como combustível e possui eficiência em torno de 90%.

f) *Moega de descarga*: na parte superior da câmara “plenum” foi construída uma moega de descarga (E, da Figura 3). Suas paredes,



construídas em concreto armado, formam um ângulo de 45° com a horizontal, para garantir o escoamento do produto. No fundo da moega foi instalado um transportador helicoidal (F, da Figura 3), com a finalidade de recolher o produto seco das quatro câmaras e descarregá-lo (G, da Figura 3).

g) *Sistema de içamento das câmaras de secagem*: para proceder ao revolvimento dos grãos nas câmaras de secagem, foi instalado um sistema de içamento formado por uma roldana e uma manivela (C e D, da Figura 2). Girando-se a manivela, o cabo de aço é acionado, tracionando-se a câmara de secagem e fazendo-a girar de forma a promover o revolvimento do produto (Figura 2).

### **3.2. Testes experimentais**

Foram realizados cinco testes de secagem durante o mês de junho de 1998, utilizando cinco diferentes intervalos de tempo para o revolvimento do produto (2, 3, 4, 5 e 6 h), com temperatura do ar de secagem na massa de café controlada de forma a não ultrapassar 40°C.

Antes da operação de carregamento do secador e depois da secagem completa do produto, este era pesado em balança de plataforma, a fim de se obter a massa inicial e final do mesmo.

#### **3.2.1. Teor de umidade**

Os teores de umidade do produto foram obtidos por meio do teste-padrão de estufa,  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , por um período de 24 h, sendo realizadas três repetições por amostra de aproximadamente 30 g (BRASIL, 1992).

As amostras para determinação do teor de umidade inicial do produto foram obtidas durante o carregamento do secador.

Para avaliar a uniformidade da secagem do produto nas câmaras, foram realizadas amostragens em diferentes posições dentro da mesma, antes e depois que se realizava o revolvimento. Estas foram feitas utilizando-se um amostrador segmentado com oito furos, que era introduzido no meio da câmara (sentido longitudinal), num ponto próximo à entrada do ar de secagem e em outro ponto próximo à saída do mesmo (Figura 4).

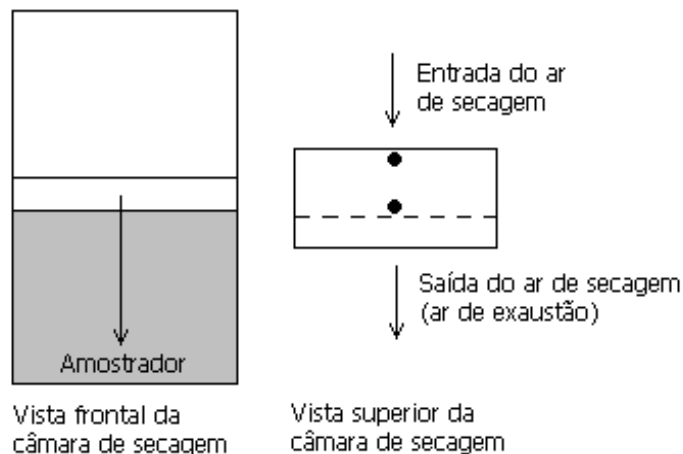


Figura 4 - Pontos de amostragens de grãos para determinação da diferença de teor de umidade.

Para determinação do final da secagem, monitorou-se o teor de umidade antes e depois de cada revolvimento realizado, utilizando-se o método de Evaporação Direta da Água em Banho de Óleo – EDABO (SABIONE et al., 1984).

### 3.2.2. Temperaturas e umidade relativa

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas utilizando-se um termohigrógrafo, colocado em um abrigo próximo ao experimento.

As temperaturas dos grãos foram obtidas por meio de termopares do tipo T, conectados a um sistema automático de aquisição de dados, acoplado a um microcomputador 486 DLC. As leituras foram realizadas em intervalos de 10 min.

Os termopares foram distribuídos da seguinte forma:

- a) Em um ponto central da saída de ar da fornalha ( A, da Figura 5);
- b) Em dois pontos da câmara “plenum” do secador ( B e C, da Figura 5);
- c) Em três pontos localizados horizontalmente na região central de duas câmaras de secagem (Figura 5); e

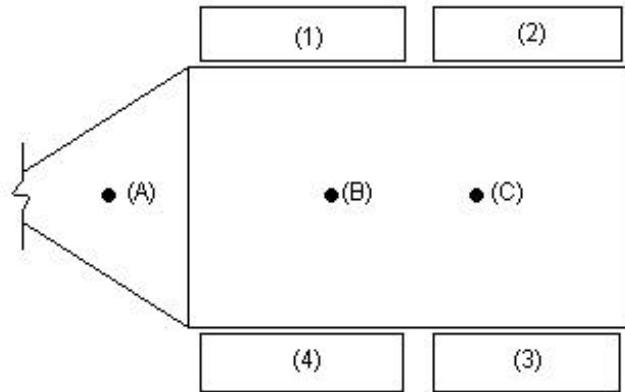


Figura 5 - Distribuição dos termopares e identificação das câmaras de secagem no secador de camada fixa.

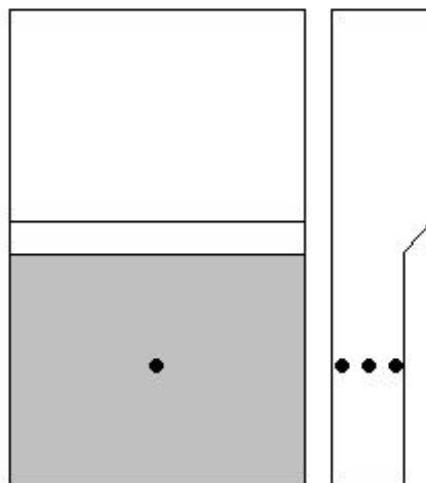


Figura 6 - Distribuição horizontal dos termopares em duas das câmaras de secagem do secador de camada fixa.

d) Em três pontos ao longo da altura, localizados no interior de duas câmaras de secagem (Figura 7).

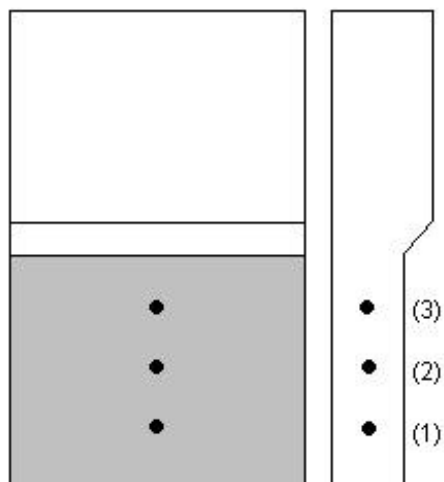


Figura 7 - Distribuição vertical dos termopares em duas das câmaras de secagem do secador de camada fixa.

### 3.2.3. Qualidade do produto

Para análise do tipo do café e da sua qualidade de bebida, foram enviadas amostras do produto final obtido em cada um dos cinco testes de secagem, bem como três amostras testemunhas, para a Cooperativa dos Cafeicultores em Guaxupé (COOXUPÉ), Minas Gerais, para realização dos ensaios pertinentes.

As amostras testemunhas constituíram-se de:

- uma seca em terreiro (T1);
- uma seca a 30°C em secador protótipo que utiliza resistências elétricas para aquecimento do ar de secagem (T2); e
- uma enviada pelo produtor, seca em secador rotativo a 50°C (T3).

Os resultados das amostras testemunhas foram comparados com os resultados das amostras secas no secador em questão e revolvidos nos intervalos de 2, 3, 4, 5 e 6 h.

### 3.2.4. Combustível

Para aquecimento do ar de secagem, foi utilizada uma fornalha de fogo direto, construída e testada por SILVA (1998), que utiliza carvão vegetal como combustível, sendo este, obtido a partir de lenha de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), com 7-8 anos de idade, proveniente do horto florestal da UFV. A madeira em questão foi carbonizada a uma temperatura em torno de 350°C.

O teor de umidade do carvão foi determinado a partir de uma amostra de 500g em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 24 h, conforme recomendações da norma NBR-6923 da ABNT.

O poder calorífico superior (PCS) foi estimado a partir dos valores de PCS normalmente encontrado para carvão originário de lenha de eucalipto do horto florestal da UFV ( $27.395 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ), e da temperatura de carbonização da madeira (350°C), para um teor de umidade de 8,28% b.u..

A partir do PCS calculou-se o poder calorífico inferior (PCI), empregando-se a seguinte equação:

$$\text{PCI} = \text{PCS} \cdot (1 - 0,0114 \cdot U) \quad (1)$$

em que PCI = poder calorífico inferior,  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ; PCS = poder calorífico superior,  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ; U = teor de umidade do carvão, % b.u..

### 3.2.5. Consumo específico de energia do secador

O consumo específico de energia foi obtido de duas maneiras (FREIRE, 1998):

a) Real - conhecendo-se o poder calorífico do carvão:

$$E_R = \frac{\text{PCl} \cdot c \cdot t \cdot (100 - U_f)}{M \cdot R \cdot (U_i - U_f)} \quad (2)$$

em que  $E_R$  = consumo específico real de energia,  $\text{kJ.kg}^{-1}$  de água evaporada; c = consumo de carvão,  $\text{kg.h}^{-1}$ ; t = tempo total da secagem, h; M = massa inicial do produto, kg;  $U_i$  = teor de umidade inicial do produto, % b.u.;  $U_f$  = teor de umidade final do produto, % b.u.; R = rendimento da fornalha, 90%.

b) Teórico - balanço energético do ar que passa pela fornalha:

$$E_E = \frac{Q.Ca.(T_s - T_a).t.(100 - U_f).60}{V_e.M.R.(U_i - U_f)} \quad (3)$$

em que  $E_E$  = consumo específico teórico de energia,  $\text{kJ.kg}^{-1}$  de água evaporada;  $Q$  = vazão do ar de secagem,  $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$ ;  $Ca$  = calor específico do ar ambiente,  $1,0048 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ;  $T_s$  = temperatura do ar de secagem,  $\text{°C}$ ;  $T_a$  = temperatura do ar ambiente,  $\text{°C}$ ;  $V_e$  = volume específico do ar ambiente,  $\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$ .

A determinação da massa de carvão consumida foi realizada em uma balança de plataforma, com sensibilidade de leitura de 0,1 kg.

Para determinação da velocidade do ar, mediu-se a pressão dinâmica, utilizando-se um tubo de Pitot, em 20 pontos da mesma seção transversal de uma tubulação montada para esta finalidade.

### 3.2.6. Eficiência de secagem

O cálculo da eficiência do processo de secagem no secador em estudo foi feito em função da razão de mistura média do ar de secagem na exaustão comparada com a razão de mistura do mesmo ar se estivesse saturado (HENDERSON et al., 1997):

$$\eta_{\text{sec}} = \frac{RM_2 - RM_1}{RM_S - RM_1} \cdot 100 \quad (4)$$

em que  $\eta_{\text{sec}}$  = eficiência do secador, %;  $RM_1$  = razão de mistura média do ar de secagem na câmara “plenum” do secador;  $RM_2$  = razão de mistura média do ar de secagem na exaustão;  $RM_S$  = razão de mistura do ar de secagem na exaustão se estivesse saturado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos cinco testes de secagem realizados no secador de camada fixa com sistema de revolvimento mecânico, quais sejam, parâmetros do produto, do ar ambiente e do ar de secagem, estão relacionados nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

Quadro 2 - Parâmetros relativos ao produto

Parâmetros	Testes				
	Intervalo de revolvimento				
	2h	3h	4h	5h	6h
- tipo de grão	Café despulpado				
- teor de umidade inicial, % b.u.	49,5	38,3	44,2	37,5	32,4
- teor de umidade final, % b.u.	11,9	9,8	12,7	12,5	11,8
- massa total inicial, kg	1.002	958	898	880	872
- massa total final, kg	538	600	575	604	672
- temperatura do ar de secagem na massa de grãos, °C:					
câmara 1*	38,7±3,6	34,2±3,0	36,7±2,6	37,9±3,2	38,0±3,3
câmara 2*	37,0±1,8	30,7±1,6	34,5±2,7	34,7±2,5	35,4±2,5
câmara 3*	36,6±2,3	30,4±2,6	33,7±2,0	34,1±2,2	35,1±1,9
câmara 4*	37,4±3,4	31,8±3,5	35,0±3,4	35,6±3,3	36,2±3,5
- tempo de secagem, h	36	22	30	21	19

\* A numeração das câmaras de secagem estão ilustradas na Figura 5.

Quadro 3 - Parâmetros relativos ao ar ambiente e ar de secagem.

Parâmetros	Testes				
	2h	3h	4h	5h	6h
- temperatura média do ar ambiente, °C	17,8	15,0	14,4	13,5	17,6
- temperatura máxima do ar ambiente, °C	24,5	24,0	18,0	24,0	24,3
- temperatura mínima do ar ambiente, °C	14,5	9,4	9,4	7,0	13,0
- temperaturas do ar de secagem, °C:					
- na expansão	42,6±2,7	39,6±3,2	42,1±3,7	41,7±2,5	41,4±2,9
- no plenum "B"	41,2±2,0	37,4±3,0	40,0±3,6	40,1±2,9	40,2±2,3
- no plenum "C"	39,4±2,5	34,4±4,2	37,7±3,3	38,1±3,1	38,7±3,8
- temperatura do ar de exaustão, °C:					
câmara 1:					
bulbo seco	31,2±3,8	20,0±3,2	24,2±4,0	26,5±4,4	27,8±3,5
bulbo molhado	23,9±3,1	11,5±3,4	15,3±3,5	16,6±4,7	17,6±3,9
câmara 3:					
bulbo seco	31,0±4,1	21,4±3,1	25,3±3,2	27,1±3,7	28,6±3,1
bulbo molhado	23,3±3,3	11,7±3,7	15,0±3,9	16,0±3,0	16,9±2,7
- umidade relativa do ar ambiente, %	92,3	82,6	95,2	81,8	86,9
- umidade relativa do ar de exaustão, %:					
câmara 1	54,9	33,7	38,7	35,8	36,2
câmara 3	52,6	28,7	32,0	30,0	29,8
- vazão do ar de secagem, m <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7

\* Os pontos de coleta de dados do plenum estão ilustrados na Figura 5.

#### 4.1. Temperaturas e umidade relativa

Os valores médios da umidade relativa ambiente e da temperatura ambiente, assim como as temperaturas máximas e mínimas registradas durante o período de secagem, estão listados no Quadro 3.

As temperaturas médias do ar de exaustão (câmaras 1 e 3) com sua respectiva umidade relativa e as temperaturas do ar de secagem na expansão e no plenum "B" e "C" para cada teste, estão registradas no Quadro 3.

A representação gráfica das temperaturas do ar de exaustão e das temperaturas do ar de secagem na expansão, no plenum e na massa de grãos, em função do tempo de secagem para cada teste encontra-se nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12.

A temperatura do ar na massa de grãos apresentou valores máximos de 41,9; 38,4; 40,6; 42,1 e 40,6°C para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente. Tais temperaturas foram sempre registradas na câmara de secagem 1 (Figuras 8 a 12).



CAMPOS (1998), testando o mesmo secador utilizado neste trabalho, com café despulpado e temperatura do ar de secagem de 43°C, registrou maior temperatura na massa de grãos na câmara 4. No presente trabalho, observa-se que as maiores temperaturas ocorreram sempre nas câmaras 1 e 4 (Figuras 8 a 12), mantendo valores próximos entre si, o que deve-se ao fato de estas estarem localizadas mais próximas da entrada do ar de secagem do que as câmaras 2 e 3. A ocorrência de valores diferentes de temperatura nas referidas câmaras evidenciam uma distribuição desuniforme do ar de secagem no interior da câmara plenum do secador, devido possivelmente à inadequação do formato em que se encontra ou, ainda, a um dimensionamento inadequado da mesma.

Em todos os testes realizados ocorreu aumento das temperaturas do ar de secagem durante as cinco primeiras horas de secagem, em todos os pontos monitorados, com tendência a manter um equilíbrio a partir deste momento. No entanto, observaram-se aumentos súbitos de temperatura, o que ocorreu possivelmente nos períodos subseqüentes à colocação do carvão na fornalha (Figuras 8 a 12).

As temperaturas do ar de exaustão, medidas nas câmaras 1 e 3, aumentaram com o decorrer da secagem nos diferentes testes realizados, fato também constatado por CAMPOS (1998). Isto deve-se, possivelmente, à tendência de a temperatura do produto entrar em equilíbrio com a temperatura do ar de secagem à medida em que o processo se desenvolve (Figuras 8 a 12).

As temperaturas medidas em dois pontos na câmara plenum do secador apresentaram valores semelhantes (Quadro 3), obtendo-se um valor médio de 39,8°C no ponto mais próximo à entrada do ar de secagem (ponto "B", Figura 5) e 37,7°C no ponto mais afastado da entrada de ar (ponto "C", Figura 5). CAMPOS (1998) encontrou maior valor de temperatura para o ponto mais afastado da entrada de ar, em média 1°C de diferença, não considerando esta significativa. No presente trabalho, a diferença foi maior (aproximadamente 2°C), podendo-se concluir que não ocorreu uma distribuição uniforme da temperatura do ar de secagem no corpo do secador e que isto explicaria as maiores temperaturas na massa de grãos registradas nas câmaras 1 e 4.

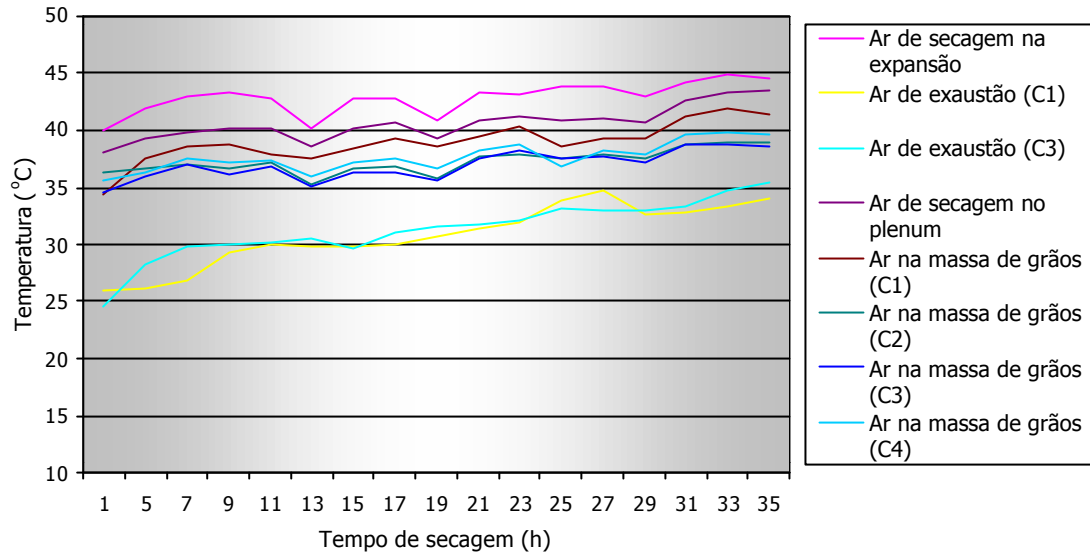


Figura 8 - Variação das temperaturas do ar de exaustão e do ar de secagem na expansão, no plenum e na massa de grãos, em função do tempo de secagem, para o teste com intervalo de revolvimento de 2 h.

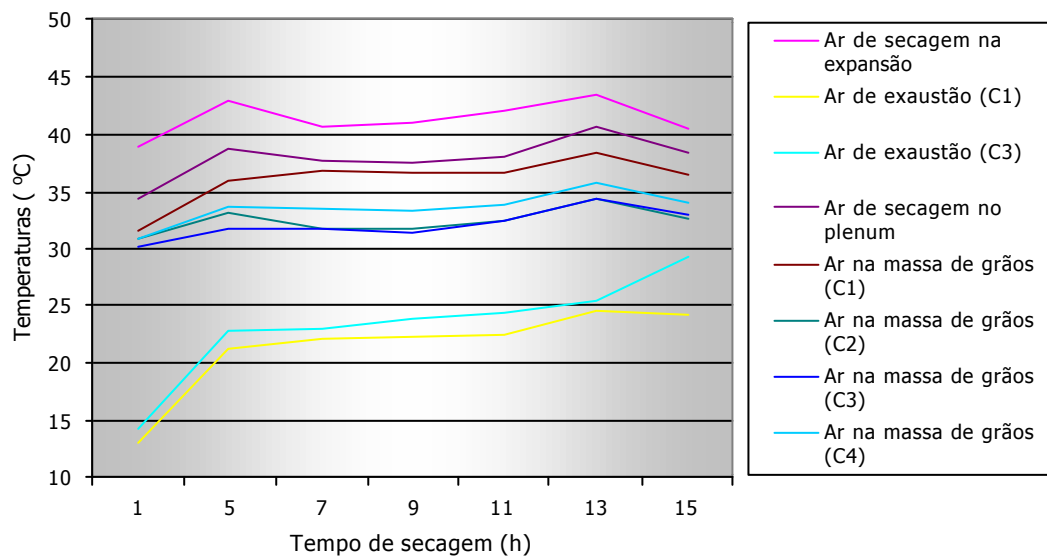


Figura 9 - Variação das temperaturas do ar de exaustão e do ar de secagem na expansão, no plenum e na massa de grãos, em função do tempo de secagem, para o teste com intervalo de revolvimento de 3 h.

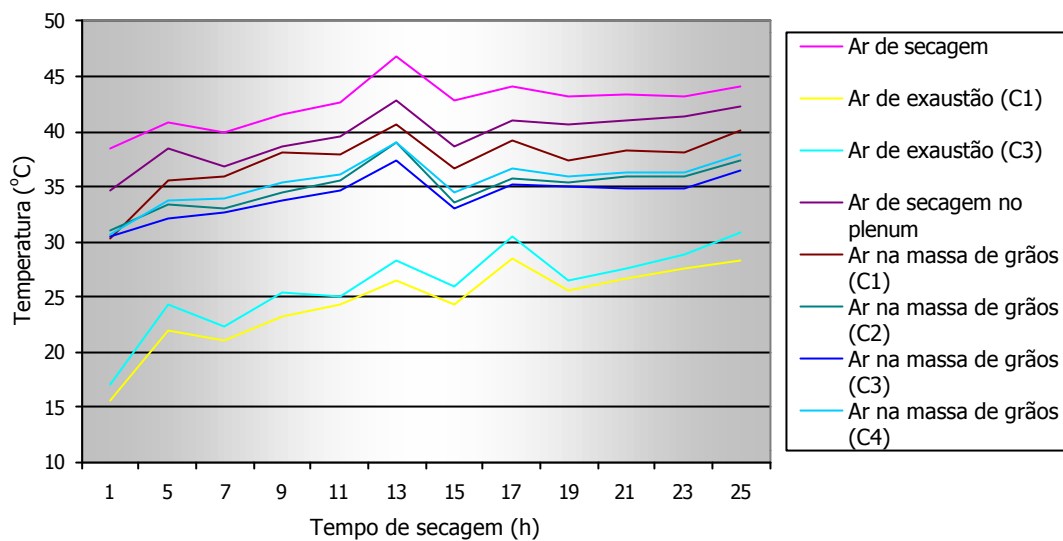


Figura 10 - Variação das temperaturas do ar de exaustão e do ar de secagem na expansão, no plenum e na massa de grãos, em função do tempo de secagem, para o teste com intervalo de revolvimento de 4 h.

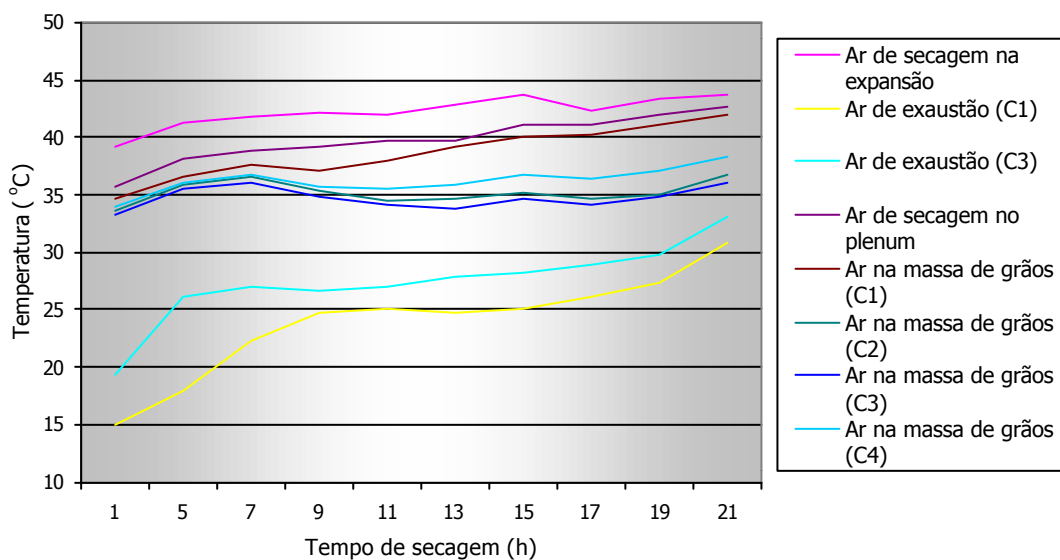


Figura 11 - Variação das temperaturas do ar de exaustão e do ar de secagem na expansão, no plenum e na massa de grãos, em função do tempo de secagem, para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h.

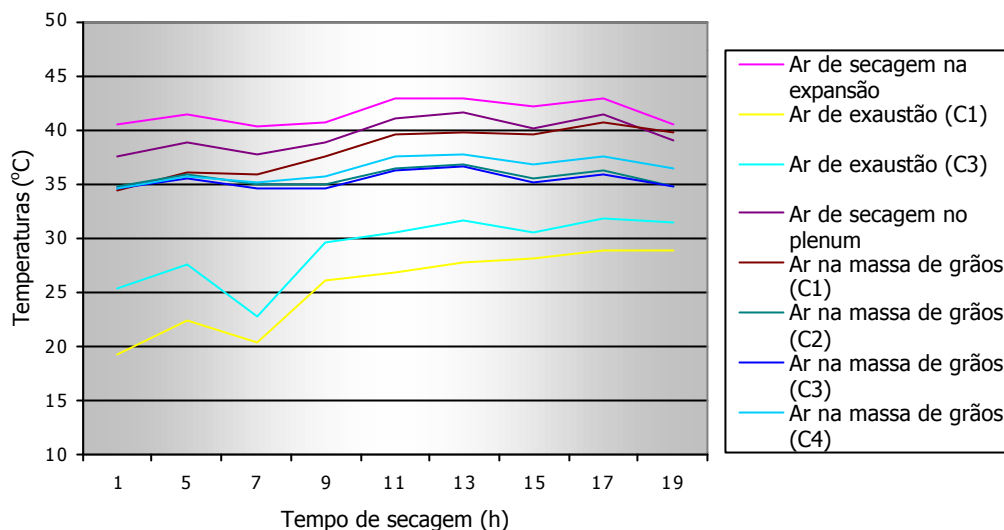


Figura 12 - Variação das temperaturas do ar de exaustão e do ar de secagem na expansão, no plenum e na massa de grãos, em função do tempo de secagem, para o teste com intervalo de revolvimento de 6 h.

#### 4.2. Temperaturas e teores de umidade

O teor de umidade inicial do produto variou para cada teste, sendo que o maior foi de 49,5% b.u. para o teste com intervalo de revolvimento de 2 h, e o menor foi de 32,4% b.u. para o teste com intervalo de revolvimento de 6 h (Quadro 2).

Conseqüentemente, o teor de umidade final também variou para cada teste, sendo 11,9; 9,8; 12,7; 12,5 e 11,8, para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente (Quadro 2).

Os valores médios das diferenças de teor de umidade e temperatura nos pontos de entrada e saída do ar de secagem na câmara, registrados antes e depois de cada revolvimento, são mostrados no Quadro 4.

Os valores médios das temperaturas do ar de secagem ao longo da altura das câmaras de secagem 2 e 4 são mostrados no Quadro 5.

O comportamento das diferenças de teor de umidade e temperatura nos pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras em função do tempo de secagem em cada teste, estão representados nas Figuras 13 a 22.

A maior diferença de teor de umidade nas câmaras antes do revolvimento foi de 10,7 pontos percentuais b.u., para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h (Quadro 4, Figura 16). Já a maior diferença de temperatura nas câmaras foi de 7,1°C, registrado no teste com intervalo de revolvimento de 4 h (Quadro 4, Figura 20).

As menores diferenças de teor de umidade e temperatura foram de 0,4 ponto percentual b.u. e 1,4°C, respectivamente, ambas registradas no teste com intervalo de revolvimento de 2 h, depois de 6 e 4 horas de secagem, respectivamente (Figuras 13 e 18).

Quadro 4 - Média das diferenças de teores de umidade e temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras, antes e depois de cada revolvimento realizado

Testes		Diferença de teor de umidade (ponto percentual b.u.)	Diferença de temperatura (°C)
2 h	Antes do revolvimento	1,6 ± 0,9	3,3 ± 1,9
	Depois do revolvimento	0,2 ± 0,7	1,9 ± 2,1
3 h	Antes do revolvimento	5,8 ± 4,3	5,6 ± 0,2
	Depois do revolvimento	0,9 ± 1,0	2,9 ± 0,4
4 h	Antes do revolvimento	3,1 ± 2,9	5,8 ± 1,2
	Depois do revolvimento	0,3 ± 1,7	3,1 ± 1,1
5 h	Antes do revolvimento	5,9 ± 4,8	4,8 ± 0,6
	Depois do revolvimento	-0,1 ± 1,4	3,1 ± 1,4
6 h	Antes do revolvimento	3,4 ± 2,7	4,2 ± 0,5
	Depois do revolvimento	0,1 ± 0,4	3,3 ± 0,9

Quadro 5 - Médias das temperaturas do ar de secagem registradas em três posições nas câmaras de secagem 2 e 4, conforme Figura 6

Testes	Temperaturas (°C)		
	Posição dentro da câmara de secagem		
	(1)	(2)	(3)
2 h	36,8±3,2	37,0±3,5	37,3±2,9
3 h	29,9±2,7	30,7±3,2	31,4±2,6
4 h	33,5±2,9	34,5±2,7	34,9±2,6
5 h	34,2±1,9	34,7±2,3	34,9±2,5
6 h	35,1±2,0	35,4±1,9	35,7±2,5

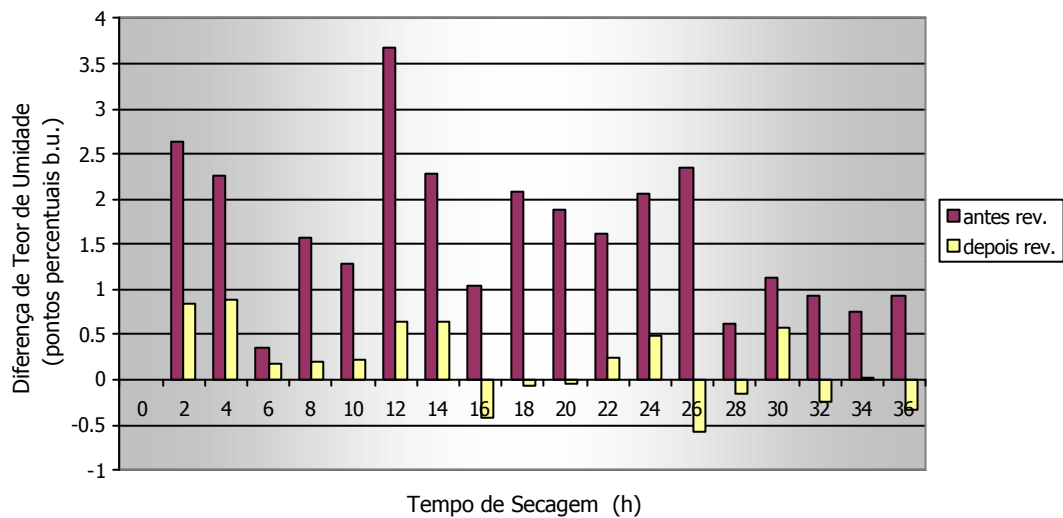


Figura 13 - Diferenças de teor de umidade entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 2 h.

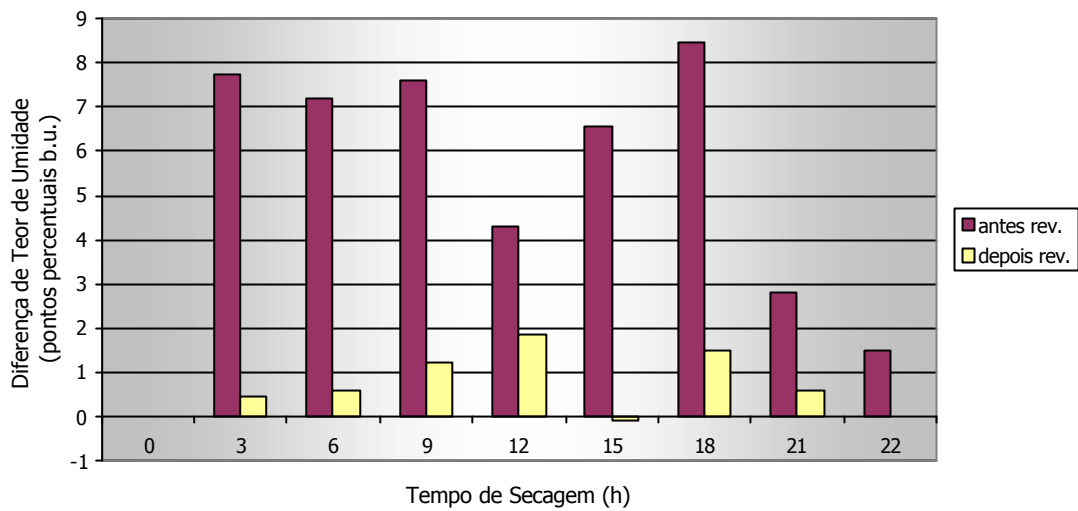


Figura 14 - Diferenças de teor de umidade entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 3 h.

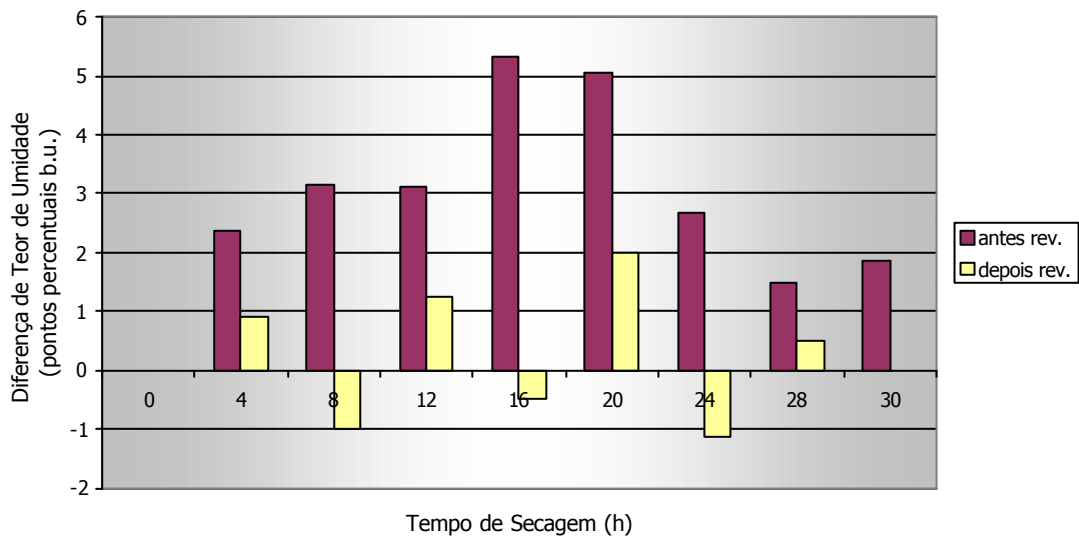


Figura 15 - Diferenças de teor de umidade entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 4 h.

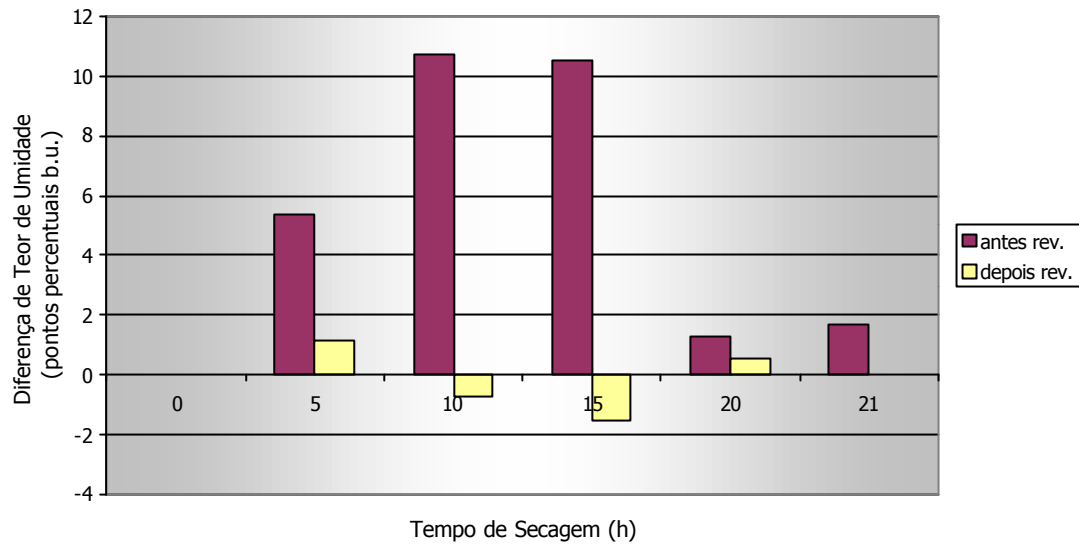


Figura 16 - Diferenças de teor de umidade entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h.

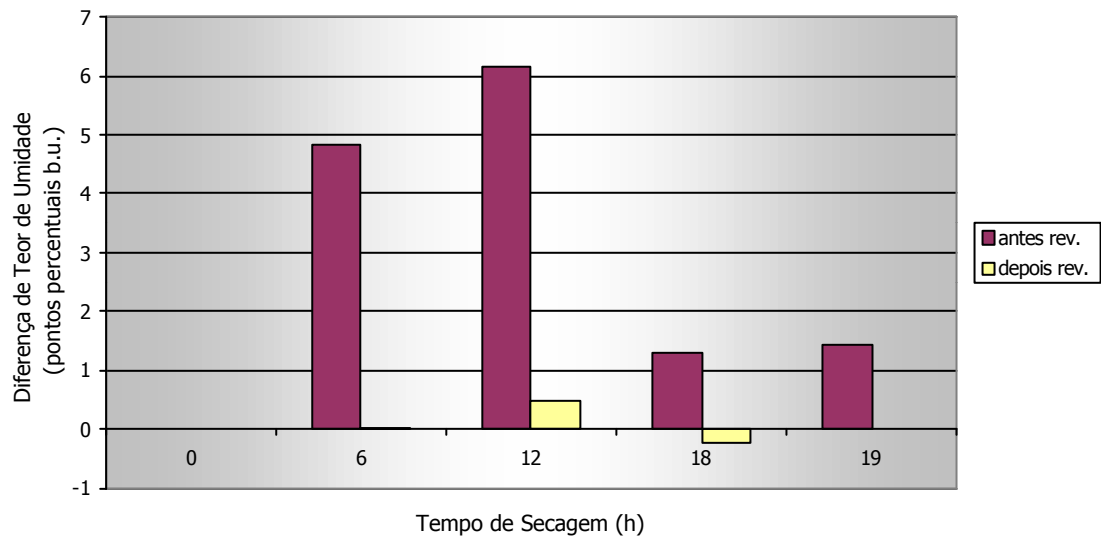


Figura 17 - Diferenças de teor de umidade entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 6 h.



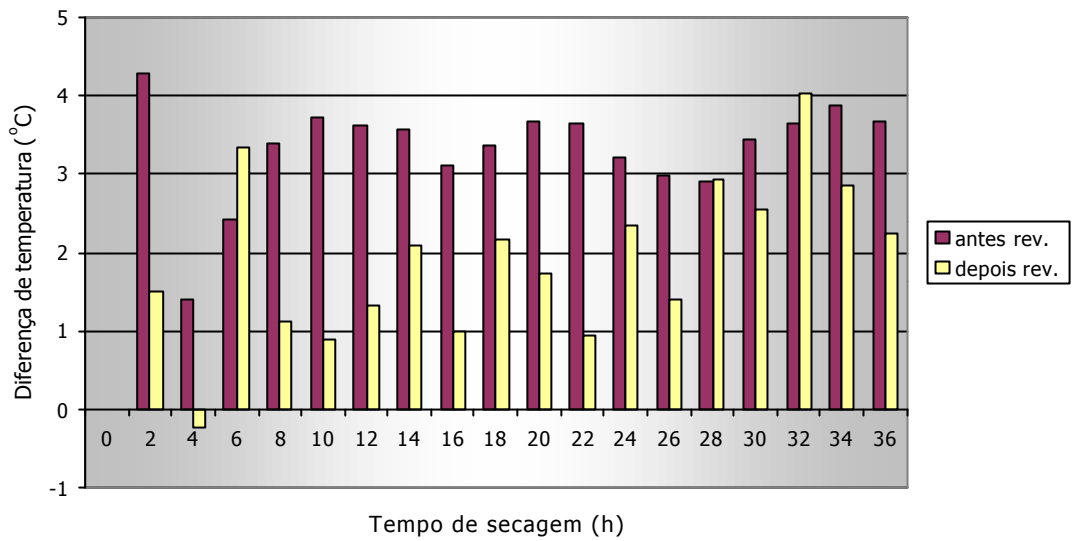


Figura 18 - Diferenças de temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 2 h.

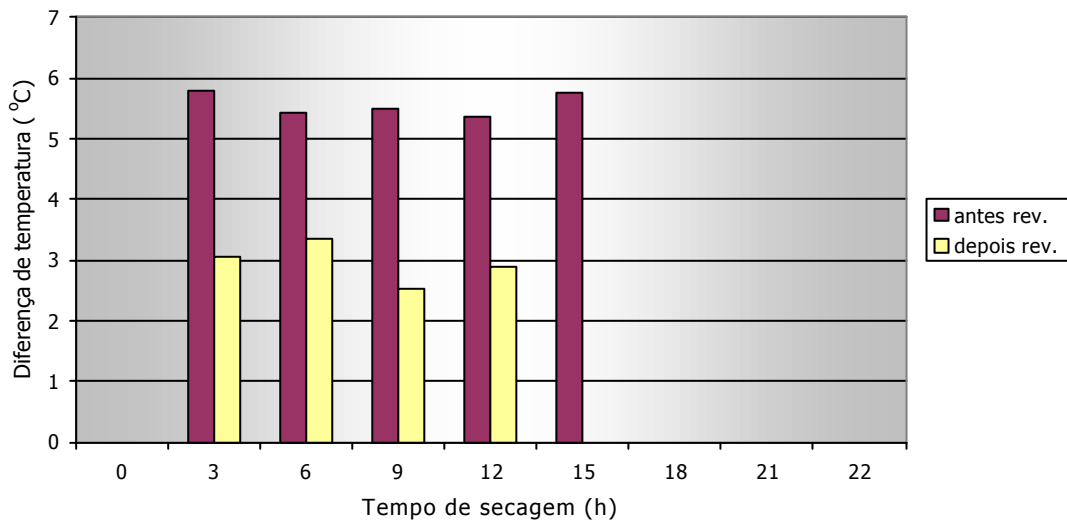


Figura 19 - Diferenças de temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 3 h.

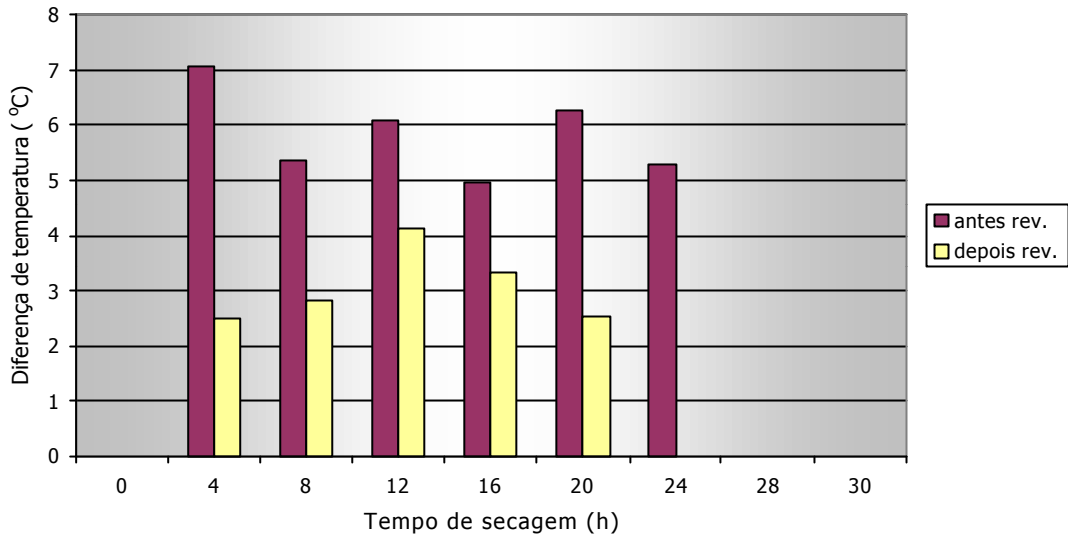


Figura 20 - Diferenças de temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 4 h.

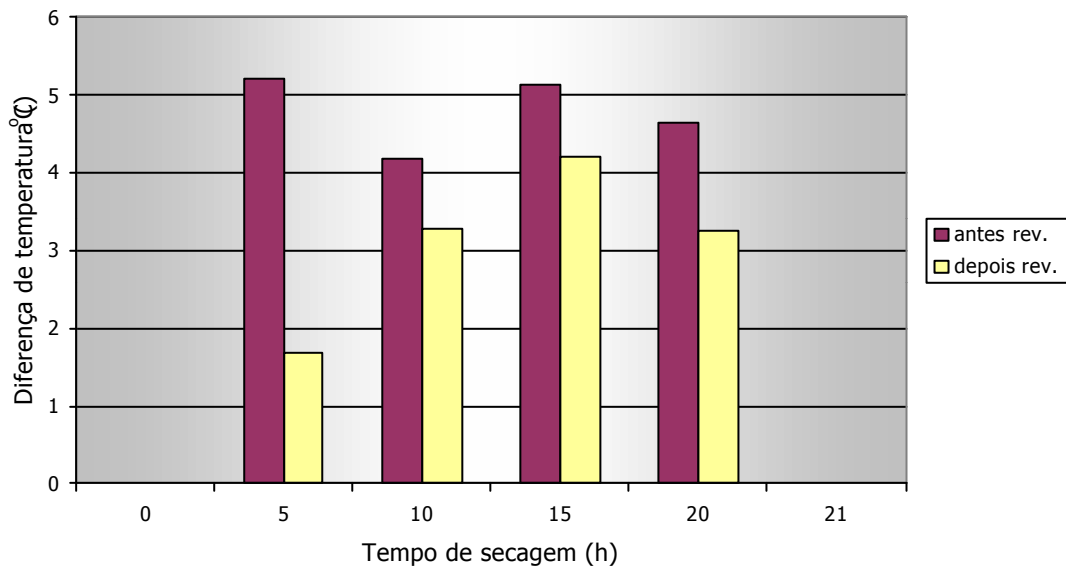


Figura 21 - Diferenças de temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h.

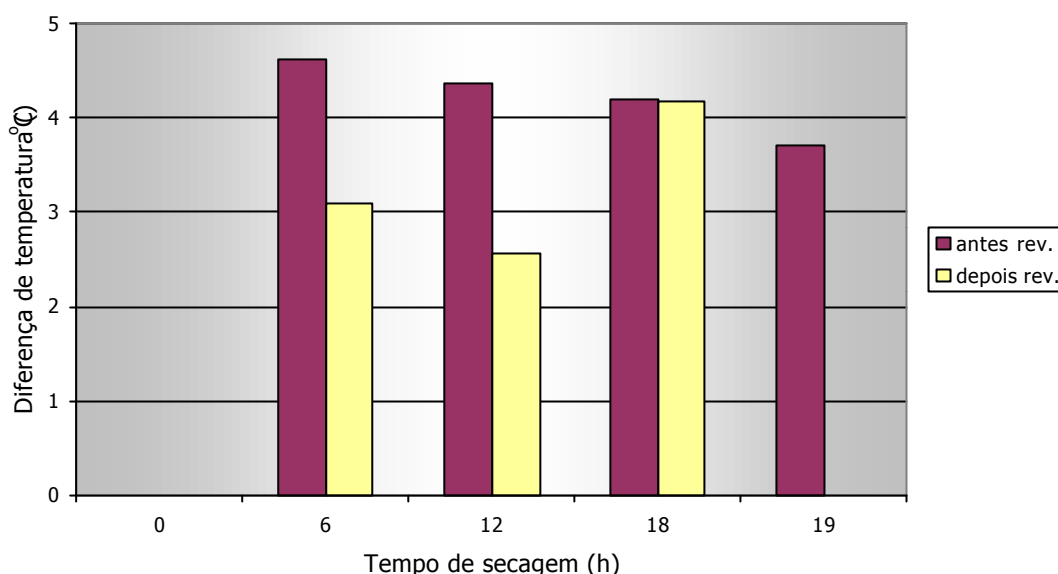


Figura 22 - Diferenças de temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem nas câmaras 1 e 3 ao longo do tempo de secagem para o teste com intervalo de revolvimento de 6 h.

As diferenças de teor de umidade nas câmaras foram calculadas, subtraindo-se o teor de umidade do produto na saída do ar de secagem da câmara do teor de umidade do produto na entrada do ar de secagem na câmara, ocasionando valores negativos de teor de umidade depois do revolvimento, demonstrando que em certas ocasiões o produto revolvido ficava com menor teor de umidade na saída do ar de secagem da câmara (Figuras 13 a 17).

CAMPOS (1998), utilizando o mesmo secador usado neste trabalho e secando café despulpado a 43°C, com teor de umidade inicial de 43,1% b.u., encontrou ao final da secagem (12% b.u.) gradientes de umidade de 0,7 e 2,2 pontos percentuais nas câmaras 1 e 2, respectivamente, e 4,4 e 4,2 pontos percentuais nas câmaras 3 e 4, respectivamente. As câmaras 3 e 4 não sofreram revolvimento no experimento conduzido por este autor. Para as demais câmaras o intervalo de revolvimento utilizado foi de 3 h. Os valores de gradientes encontrados por CAMPOS (1998) nas câmaras que sofreram revolvimento foram menores que as diferenças encontradas no presente

trabalho, possivelmente, por ter o autor considerado somente o gradiente do final da secagem que é relativamente menor que o mesmo durante o processo (à medida que se aproxima o final da secagem os gradientes e diferenças de umidade nas câmaras de secagem tendem a diminuir visto que maior parte do produto já se encontra com menor teor de umidade), e neste trabalho foi considerada a média das diferenças de umidade nas câmaras durante toda a secagem. Outro fator que possivelmente explica os menores gradientes encontrados por Campos é a maior temperatura do ar de secagem utilizada em seu experimento. A diferença de teor de umidade do teste com intervalo de revolvimento de 2 h, que foi de 1,6 pontos percentuais b.u., foi uma exceção, sendo menor que o gradiente encontrado por Campos.

BERBERT (1991), secando café a 50°C, em secador de camada fixa convencional, sem revolvimento, observou gradiente de umidade de 13,3 pontos percentuais b.u., para altura da camada de 0,90 m, indicando a necessidade da realização do revolvimento ou reversão do fluxo de ar, a fim de uniformizar o teor de umidade da massa de grãos. A maior diferença de teor de umidade nas câmaras encontrada no presente trabalho foi de 5,9 pontos percentuais b.u., para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h, mostrando-se eficiente na uniformização da massa de produto, quando comparada com BERBERT (1991).

As diferenças entre as médias das temperaturas do ar de secagem na massa de grãos antes e depois de cada revolvimento foram de 2,04; 3,52; 3,32; 2,94 e 3,07, para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente. Observa-se que os valores destas diferenças são próximos uns dos outros, sendo em média de 3°C e não interferem nas diferenças de umidade e temperatura encontradas (Quadro 6 e Figuras 23 a 27).

Em todos os testes realizados a operação de revolvimento mostrou-se eficaz na diminuição das diferenças de teor de umidade e de temperatura nas câmaras de secagem. A maior diferença de teor de umidade encontrada depois do revolvimento foi de 0,9 pontos percentuais e a maior diferença de temperatura foi de 3,3°C, observadas nos testes com intervalos de revolvimento de 3 e 6 h, respectivamente (Figuras 15 e 22).

Quadro 6 - Médias das temperaturas do ar de secagem na massa de grãos antes e depois de cada revolvimento, para os diferentes testes realizados

Testes	Temperaturas (°C)	
	Antes do revolvimento	Depois do revolvimento
2 h	38,6±3,0	36,5±5,4
3 h	34,2±4,4	30,7±2,4
4 h	36,8±4,9	33,5±4,0
5 h	37,9±3,3	35,0±2,2
6 h	38,1±1,5	35,0±1,7

Quanto ao fato de as diferenças de temperatura nos testes com intervalos de revolvimento de 3, 4 e 5 h terem apresentado valores próximos uns dos outros e maiores que no teste com intervalo de 6 h, pode-se dizer que foi devido à ocorrência de baixos valores de temperatura ambiente (Quadro 3) registradas durante a realização dos mesmos, o que proporcionava maior resfriamento do ar de secagem no corpo do secador e que posteriormente passa pela massa de café (Figuras 19 a 22).

Quanto aos valores de temperatura nas câmaras 2 e 4, nota-se que no ponto 3 a temperatura foi maior em todos os testes realizados, o inverso ocorrendo para a ponto 1 (Quadro 5). Possivelmente tal diferença ocorreu porque no ponto 1 o produto fica próximo à parede inferior, em contato com o ambiente e no ponto 3 o produto fica em contato com a câmara destinada ao revolvimento dos grãos, que retém ar com maiores temperaturas. As diferenças de temperatura no sentido vertical das câmaras de secagem foram consideravelmente menores que as diferenças ao longo da espessura da mesma, parecendo não ser significativa quando comparada com as diferenças no sentido horizontal.

Durante a realização dos testes de secagem com intervalos de revolvimento de 3 e 4 h, ocorreu um problema técnico com o aparelho que

registrava as temperaturas, não sendo possível a observação dos dados até o final do teste (Figuras 19 e 20).

### 4.3. Uso da energia

No Quadro 7 estão apresentados os valores de consumo de carvão, poder calorífico inferior (PCI), consumo específico de energia real e teórico e eficiência do processo de secagem.

Quadro 7 - Dados referentes ao uso da energia

Parâmetros	Intervalo de revolvimento				
	2h	3h	4h	5h	6h
- consumo de carvão, kg.h <sup>-1</sup>	12,8	16,6	12,5	13,8	13,2
- poder calorífico inferior (PCI), kJ.kg <sup>-1</sup>	22.998	22.998	22.998	22.998	22.998
- cons. espec. de energia (real), kJ.kg <sup>-1</sup>	27.645	30.864	29.510	29.300	31.373
- cons. espec. de energia (teórico), kJ.kg <sup>-1</sup>	7.373	6.150	9.772	8.429	8.145
- eficiência de secagem, %	58,0	23,7	35,7	35,7	26,7

O consumo específico de energia real médio observado no secador estudado foi de 29.739 kJ.kg<sup>-1</sup> de água evaporada, maior que o valor encontrado por CAMPOS (1998), ou seja, 12.752 kJ.kg<sup>-1</sup> de água evaporada, empregando fornalha de aquecimento indireto para secar café despulpado com temperatura do ar de secagem igual a 43°C. BERBERT (1991), secando café em coco em secador de camada fixa com temperatura do ar de secagem de 50°C, e fluxo do ar de secagem de 15 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>, observou um consumo específico de energia de 9.150 kJ.kg<sup>-1</sup> de água evaporada. Ao maior valor encontrado no presente trabalho, poder-se-ia atribuir à fornalha, recomendada por SILVA (1998), que estaria superdimensionada para o secador utilizado neste caso.

O menor valor encontrado por BERBERT (1991) pode também ser justificado devido à maior temperatura do ar de secagem utilizada, pois OSÓRIO (1982), estudando secagem de café em secadores de fluxos concorrentes e utilizando temperaturas de 80, 100 e 120°C, observou menor consumo específico de energia quando se utilizou valores mais elevados de temperatura. Outra justificativa seria atribuída ao fluxo de ar, visto que apesar deste parâmetro ser mais alto no trabalho de Berbet, a altura de camada também é consideravelmente maior (0,9 m).

Observa-se no Quadro 7 que o menor consumo específico de energia ocorreu para o teste com intervalo de revolvimento de 2 h e o maior para o de 6 h. Isto se justifica devido ao fato de que no teste com intervalo de 2 h o teor de umidade inicial do produto era mais alto (49,5% b.u.), proporcionando maior taxa de secagem no início do processo. Já para o teste com intervalo de revolvimento de 6 h, em que o teor de umidade inicial era de 32,4% b.u., a retirada de água tornou-se um processo mais lento, com menor taxa de secagem.

FREIRE (1998), secando café despulpado em sistema combinado, utilizando secador de fluxos concorrentes/contracorrentes e silo-secador, observou valores mais próximos uns dos outros para os consumos específicos de energia real e teórico, ou seja, 10.003 e 7.700 kJ.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A maior diferença encontrada nesse trabalho, 7.974 kJ.kg<sup>-1</sup> de água evaporada, em média, deve-se, possivelmente, ao tipo de combustível utilizado.

CASTRO (1991), estudando o efeito do despulpamento, em secador de leito fixo, no consumo de energia e na qualidade do café, concluiu que o intervalo de revolvimento não influi significativamente no consumo específico de energia. No presente trabalho, de forma geral, o intervalo de revolvimento parece também não haver influenciado o consumo específico de energia.

Quanto à eficiência de secagem, calculada conforme metodologia descrita no item 3.2.6, observa-se que o melhor resultado (58%) ocorreu no teste com intervalo de revolvimento de 2 h, o que pode ser atribuído ao alto teor de umidade inicial do produto utilizado nesse teste. CAMPOS (1998), secando café despulpado com teor de umidade inicial de 44% b.u. e temperatura do ar de secagem de 43°C, utilizando fornalha de aquecimento indireto, encontrou eficiência do processo de secagem de 33,7%. Como neste

trabalho utilizou-se fornalha de aquecimento direto, esperava-se obter maiores eficiências no processo de secagem, o que não ocorreu devido, possivelmente, a um dimensionamento inadequado da fornalha para as necessidades do secador, ou seja, sua capacidade de combustão acima das exigências do processo de secagem em estudo.

Os resultados obtidos para os parâmetros consumo específico de energia e eficiência de secagem poderiam ser justificados pelo fato de que o ar de secagem estaria saindo da câmara ainda com alto potencial de secagem (Quadro 3), o que, por sua vez, pode ser explicado devido ao elevado fluxo de ar utilizado para tal espessura de camada do produto.

#### 4.4. Classificação do produto

Amostras do produto coletadas depois do término dos testes foram enviadas à Cooperativa dos Cafeicultores de Guaxupé-MG (COOXUPÉ), para avaliação da qualidade da bebida e das características do produto. O Quadro 8 apresenta os resultados obtidos nessas avaliações.

Quadro 8 - Resultados da classificação do café

Testes	Parâmetros				
	Bebida	Tipo	Cor	Torração	Aspecto
- testemunhas					
T1	Dura	6	Esverdeado	Boa	Bom
T2	Dura	6/7	Esverdeado	Boa	Bom
T3	Dura	5	Esverdeado	Boa	Bom
- testes					
2h	Dura	5	Esverdeado	Boa	Bom
3h	Dura	5	Esverdeado	Boa	Bom
4h	Dura	5	Esverdeado	Boa	Bom
5h	Dura	6	Esverdeado	Boa	Bom
6h	Dura	5	Esverdeado	Boa	Bom



Para efeito de comparação, foram também enviadas para análise três amostras testemunhas T1, T2 e T3, com teores de umidade de 11,8; 12,3 e 11,4% b.u., respectivamente.

Todas as amostras resultaram em bebida classificada como “Dura”, mostrando que o combustível utilizado (carvão vegetal) em fornalha de aquecimento direto e os demais procedimentos utilizados não comprometeram a qualidade da bebida do café (Quadro 8).

Considerando que o tipo “4” é tido como padrão para exportação, pode-se dizer que, neste trabalho, o produto apresentou resultado satisfatório com tipo “5” na maioria dos testes realizados (Quadro 8).

O tipo “5” e bebida “Dura” foram também encontrados por FREIRE (1998), secando café despulpado em sistema de secagem combinada. CAMPOS (1998) encontrou tipo “6” e bebida “Dura”, para café despulpado seco a 43°C no mesmo secador usado para realização deste trabalho.

CORDEIRO (1982), secando café em secador de camada fixa convencional, obteve tipo “8” e bebida “Riada”. A diferença deve-se, possivelmente, à maior temperatura do ar de secagem utilizada (60°C) e ao fato do café estar na sua forma integral (em “coco”).

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido no setor de pré-processamento de produtos agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola.

Foi avaliada a redução dos gradientes de teor de umidade e de temperatura em um protótipo de secador de camada fixa para café despulpado com sistema de revolvimento mecânico, sob diferentes intervalos de revolvimento e condições de secagem.

Para a avaliação conduziram-se cinco testes de secagem, utilizando cinco diferentes intervalos de revolvimento do produto (2, 3, 4, 5 e 6 h), com temperatura do ar de secagem na massa de café controlada de forma a não ultrapassar 40°C.

A vazão do ar de secagem foi de 11,7 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. Os teores de umidade iniciais do produto foram diferentes em cada teste realizado sendo: 49,5, 38,3, 44,2, 37,5 e 32,4% b.u., para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente. Ao final da secagem, os grãos atingiram os teores de umidade de 11,9, 9,8, 12,7, 12,5 e 11,8% b.u. para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente.

Com o intuito de avaliar a uniformidade na massa de grãos, do teor de umidade dos grãos de café, foram realizadas amostragens do produto em dois pontos da câmara de secagem, antes e depois de cada revolvimento realizado.

Para avaliar a uniformidade da temperatura do ar de secagem na massa de grãos e no plenum foram instalados termopares ligados a um sistema de aquisição de dados, que registrava as temperaturas em intervalos de 10 min.

Com base nos resultados obtidos nos testes, pode-se concluir que:

- As câmaras de secagem 1 e 4 apresentam maior temperatura do ar de secagem na massa de grãos, evidenciando uma possível má distribuição do fluxo de ar no plenum do secador.
- Tendência da temperatura do produto entrar em equilíbrio com o ar de secagem à medida que o processo se desenvolve.
- A maior diferença de teor de umidade entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem no sentido horizontal da câmara, observada antes do revolvimento, ocorreu no teste com intervalo de revolvimento de 5 h.
- A maior diferença de temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem no sentido horizontal da câmara de secagem, observada antes do revolvimento, ocorreu no teste com intervalo de revolvimento de 4 h.
- As menores diferenças tanto de teor de umidade quanto de temperatura no sentido horizontal da câmara de secagem, antes do revolvimento, foram observadas no teste com intervalo de revolvimento de 2 h.
- As diferenças de temperatura observados no sentido vertical das câmaras de secagem, foram relativamente inferiores, quando comparadas com os mesmos no sentido horizontal.
- A operação de revolvimento mostrou-se eficaz na diminuição das diferenças, tanto de teor de umidade quanto de temperatura.
- O secador apresentou alto consumo específico de energia (27.645, 30.864, 29.510, 29.300 e 31.373 kJ.kg<sup>-1</sup> de água evaporada), para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente).
- Os testes que iniciaram com teores de umidade mais elevados apresentaram maiores eficiências no processo de secagem.
- Ao alto consumo específico de energia e à baixa eficiência energética encontrados, pode ser atribuído o alto fluxo de ar utilizado nos testes, visto que o ar saía da câmara ainda com alto potencial de secagem.
- A fornalha de aquecimento direto a carvão vegetal utilizada nos testes não se mostrou adequadamente dimensionada para o secador utilizado.

- O combustível utilizado para aquecimento do ar de secagem e demais procedimentos utilizados nos testes não influenciaram a qualidade do produto no que diz respeito ao "tipo" e a "bebida".

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Melhorar o sistema de içamento das câmaras de secagem (acrescentando mais roldanas no sistema) visando tornar o trabalho menos dificultoso para o operador, durante as operações de revolvimento.
- Viabilizar um sistema de carregamento do secador (sistema móvel de rosca sem fim acoplada a uma pequena moega), visto que tal operação exige grande esforço do operador.
- Realizar testes enfocando a distribuição do fluxo de ar na câmara plenum do secador.
- Realizar testes com diferentes fluxos de ar, para avaliação da eficiência de secagem e consumo específico de energia.
- Realizar testes, fazendo coletas de amostras para determinação das diferenças de teor de umidade e temperatura entre os pontos de entrada e saída do ar de secagem na câmara, ou de gradientes para todas as câmaras que constituem o secador, visando avaliar possíveis diferenças encontradas entre as mesmas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J.L.S. **Curso de classificação e degustação de café**. Brasília: MARA-PROCAFÉ, 1996. 64 p.
- BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1978. 13 p. (ASAE Paper, 78-3523).
- BÁRTHOLO, G.F., GUIMARÃES, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.
- BÁRTHOLO, G.F., MAGALHÃES FILHO, A.A.R., GUIMARÃES, P.T.G., CHALFOUN, S.M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.
- BERBERT, P.A. **Secagem de café (*Coffea arabica* L.), em camada fixa, com inversão de sentido do fluxo de ar**. Viçosa-MG: UFV, 1991. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes (RAS)**. Brasília: 1992. 365 p.
- BRINKWORTH, B.J., NUH, D.N. A novel thin-layer model for crop drying. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n. 3, p. 659-669, 1997.
- BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 1992. 450 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. 61 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- CARVALHO, N.M. **A secagem de sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165 p.
- CARVALHO, V.D., CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 11, n. 126, p. 79-92, 1985.
- CARVALHO, V.D., CHAGAS, S.J.R., SOUZA, S.M.C. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.
- CASTRO, L.E. **Efeito do despulpamento, em secador de leito fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café (*Coffea arabica* L.).** Viçosa-MG: UFV, 1991. 61 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- CORDEIRO, J.A.B. **Influência da temperatura e do tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arabica*, L.) em camadas fixas.** Viçosa-MG: UFV, 1982. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- CÔRREA, P.C. **Simulação de secagem de café em camada espessa.** Viçosa-MG: UFV, 1982. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- CÔRREA, P.C., HARA, T., SIMÃO JÚNIOR, R. Análise da secagem de café em leito fixo, para temperaturas de ar a 40, 50 e 60°C. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 4, n. 7, p. 1-6, 1994.
- DALPASQUALE, V.A., PEREIRA, J.A.M., SINICIO, R., OLIVEIRA FILHO, D. **Secado de grãos a altas temperaturas.** Santiago-Chile: Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 1991. 75 p.
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FAEMG. **Diagnóstico da cafeicultura em Minas Gerais.** Belo Horizonte-MG: 1996. 52 p. (Relatório de Pesquisa).
- FREIRE, A.T. **Projeto e avaliação de um sistema de secagem combinada de café (*Coffea arabica* L.) despulpado.** Viçosa-MG: UFV, 1998. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

- GUARÇONI, R.C. **Efeito da temperatura de secagem e da percentagem de frutos verdes na qualidade do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner)**. Viçosa-MG: UFV, 1995. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Connecticut: The AVI Publishing, 1980. 381 p.
- HENDERSON, S.M., PERRY, R.L., YOUNG, J.H. **Principles of process engineering**. 4.ed. St. Joseph-MI-USA: ASAE, 1997. 353 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. 5.ed. Rio de Janeiro: 1985. 580 p.
- LACERDA FILHO, A.F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. Viçosa-MG: UFV, 1986. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- LACERDA FILHO, A.F. **Avaliação de uma unidade de beneficiamento de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. Botucatu-SP: UNESP, 1998. 198 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, 1998.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1993. 210 p.
- NELLIST, M.E., BRUCE, D.M. Grain dryer testing-procedure, calculation and adjustment of results, and effect of errors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 52, n. 1, p. 35-51, 1992.
- NELLIST, M.E., BRUCE, D.M. Heated-air grain drying. In: JAYAS, D.S., WHITE, N.D.G., MUIR, W.E. (Eds.). **Storage-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 609-659.
- OSÓRIO, A.G.S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café**. Viçosa-MG: UFV, 1982. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- PINTO, F.A.C. **Projeto de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café**. Viçosa-MG: UFV, 1982. 57p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- PINTO FILHO, G.L. **Desenvolvimento de um secador de fluxos cruzados com reversão do fluxo de ar de resfriamento, para a secagem de café (*Coffea arabica* L.)**. Viçosa-MG: UFV, 1994. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

- RAMOS, W. O mercado interno e a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 73-76, 1997.
- ROSSI, S.J., ROA, G. **Secagem e armazenagem de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1980. 295 p. (Publicação ACIESP, 22).
- SABIONE, P.M. **Projeto a avaliação de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar, na secagem de milho (*Zea mays* L.)**. Viçosa-MG: UFV, 1986. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- SABIONE, P.M., FARIA, M.N., HARA, T. Determinador de umidade de grãos experimental - EDABO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 14, 1984, Fortaleza-CE. **Anais...** Fortaleza: 1984. 62 p.
- SILVA, I.D. **Projeto, construção e teste de uma fornalha a carvão vegetal para secagem de café**. Viçosa-MG: UFV, 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- SILVA, J.S., LACERDA FILHO, A.F. **Construção e operação de secador de grãos**. Viçosa-MG: UFV, 1993. 28 p. (Boletim de Extensão, 34).
- SILVA, J.S., GOMES, R.A.R., HARA, T., CARVALHO PINTO, F. de A. Estudo de uma fornalha para secagem de grãos com aquecimento direto. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, Série Armazenamento, v. 1, n. 2, p. 6-10, 1991.
- SILVA, J.S., AFONSO, A.D.L., LACERDA FILHO, A.F. Secagem a armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J.S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora-MG: Instituto Maria, 1995. p. 395-461.
- SILVA, F.M., CARVALHO, G.R., SALVADOR, N. Mecanização da colheita do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 43-54, 1997.
- TÔRRES, G. Qualidade: fator determinante para uma cafeicultura moderna. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 3, 1997.
- VILELA, E.R. Secagem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte-MG, v. 18, n. 187, p. 55-67, 1997.



## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

Quadro 1A - Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, registradas durante a realização dos testes de secagem

Tempo de sec. (h)	Testes de secagem									
	2 h		3 h		4 h		5 h		6 h	
	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)
1	24,5	57	11,5	100	15,5	84	21,5	58	21,0	72
2	24,0	59	10,5	100	15,0	100	22,5	53	22,5	63
3	22,0	73	10,0	100	14,8	100	23,0	47	24,0	57
4	20,0	85	10,2	100	13,9	100	23,0	47	24,3	58
5	19,0	96	10,0	100	13,9	100	24,0	46	23,9	60
6	18,7	100	10,2	100	14,0	100	20,0	48	22,2	65
7	17,0	100	10,3	100	13,0	100	17,0	55	19,0	82
8	16,9	100	10,5	100	12,0	100	14,5	74	18,0	95
9	16,9	100	10,4	100	11,5	100	12,5	90	16,5	100
10	16,8	100	10,0	100	10,6	100	11,3	100	16,0	100
11	16,8	100	9,4	100	10,0	100	10,9	100	16,0	100
12	16,0	100	11,5	100	10,0	100	10,0	100	15,3	100
13	16,9	100	14,0	95	9,4	100	9,2	100	14,8	100
14	15,0	100	17,5	75	11,0	100	8,8	100	14,0	100
15	15,2	100	19,5	64	15,0	100	8,2	100	13,5	100
16	15,7	100	20,6	59	16,2	91	8,0	100	13,0	100
17	16,0	100	22,5	53	16,5	83	7,6	100	13,3	100
18	16,0	100	23,0	52	16,8	80	7,2	100	13,8	100
19	16,5	100	24,0	50	17,0	79	7,0	100	14,0	100
20	17,2	100	23,5	51	17,0	78	7,0	100		
21	18,0	92	21,0	55	17,2	80	10,0	100		
22	19,5	88	19,0	64	17,6	80				
23	20,0	84			18,0	100				

Continua...

Quadro 1A, Cont.

Tempo de sec. (h)	Testes de secagem									
	2 h		3 h		4 h		5 h		6 h	
	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)	T (°C)	UR(%)
24	22,0	74			17,0	100				
25	21,5	77			15,0	100				
26	21,5	68			15,2	100				
27	22,0	80			15,0	100				
28	19,0	90			15,0	100				
29	16,5	100			15,0	100				
30	15,0	100			15,0	100				
31	15,0	100								
32	15,0	100								
33	14,5	100								
34	15,0	100								
35	15,0	100								
36	14,5	100								

## APÊNDICE B

Quadro 1B - Teor de umidade dos grãos e temperatura do ar na massa de grãos, observadas nas posições de entrada e de saída do ar de secagem na câmara com as respectivas diferenças, antes e depois de cada revolvimento, para o teste com intervalo de revolvimento de 2 h

Tempo de secagem (h)	Posição na câmara	Teor de umidade (% b.u.)		Temperatura (°C)	
		antes revolv.	depois revolv.	antes revolv.	depois revolv.
0	entrada	49,5	-	32,88	-
	saída	49,5	-	32,88	-
	diferença	0	-	0	-
2	entrada	45,6	46,7	37,7	35,6
	saída	48,2	47,5	33,4	34,1
	diferença	2,6	0,8	4,3	1,5
4	entrada	42,1	42,2	37,0	31,0
	saída	44,3	43,1	35,6	31,2
	diferença	2,2	0,9	1,4	-0,2
6	entrada	42,1	42,3	38,3	39,2
	saída	42,5	42,4	35,8	35,9
	diferença	0,4	0,2	2,4	3,3
8	entrada	41,8	42,1	40,6	35,2
	saída	43,4	42,3	37,2	34,0
	diferença	1,6	0,2	3,4	1,1
10	entrada	38,0	38,3	39,9	35,8
	saída	39,2	38,5	36,2	34,9
	diferença	1,2	0,2	3,7	0,9
12	entrada	36,7	38,0	39,9	35,6
	saída	40,4	38,6	36,3	34,3
	diferença	3,7	0,6	3,6	1,3
	entrada	34,8	35,8	40,4	36,5

Continua...

Quadro 1B, Cont.

Tempo de secagem (h)	Posição na câmara	Teor de umidade (% b.u.)		Temperatura (°C)	
		antes revolv.	depois revolv.	antes revolv.	depois revolv.
14	saída	37,1	36,4	36,9	34,4
	diferença	2,3	0,6	3,6	2,1
	entrada	33,0	34,0	39,8	35,3
16	saída	34,0	33,6	36,7	34,3
	diferença	1,0	-0,42	3,1	1,0
	entrada	30,2	31,2	39,5	36,7
18	saída	32,3	31,1	36,2	34,5
	diferença	2,1	-0,1	3,4	2,2
	entrada	28,4	29,6	40,4	37,0
20	saída	30,3	29,5	36,7	35,2
	diferença	1,9	-0,1	3,7	1,7
	entrada	28,6	29,3	42,0	37,9
22	saída	30,2	29,5	38,4	36,9
	diferença	1,6	0,2	3,6	1,0
	entrada	27,8	28,0	41,4	38,9
24	saída	29,9	28,5	38,2	36,5
	diferença	2,0	0,5	3,2	2,3
	entrada	27,0	28,3	41,1	38,2
26	saída	29,4	27,7	38,1	36,8
	diferença	2,4	-0,6	3,0	1,4
	entrada	19,5	20,0	41,2	39,8
28	saída	20,1	19,8	38,3	36,9
	diferença	0,6	-0,2	3,0	2,9
	entrada	17,1	17,0	42,2	39,6
30	saída	18,2	17,6	38,8	37,0
	diferença	1,1	0,6	3,4	2,6
	entrada	15,1	15,4	43,1	42,3
32	saída	16,0	15,1	39,5	38,3
	diferença	0,1	-0,3	3,6	4,0
	entrada	13,2	13,4	42,5	40,7
34	saída	14,0	13,5	38,6	37,9
	diferença	0,8	0,1	3,9	2,8
	entrada	11,5	11,6	43,2	39,9
36	saída	12,4	11,2	39,6	37,7
	diferença	0,9	-0,4	3,7	2,2

Quadro 2B - Teor de umidade dos grãos e temperatura do ar na massa de grãos, observadas nas posições de entrada e de saída do ar de secagem na câmara com as respectivas diferenças, antes e depois de cada revolvimento, para o teste com intervalo de revolvimento de 3 h

Tempo de secagem (h)	Posição na câmara	Teor de umidade (% b.u.)		Temperatura (°C)	
		antes revolv.	depois revolv.	antes revolv.	depois revolv.
0	entrada	38,3	-	15,9	-
	saída	38,3	-	15,9	-
	diferença	0	-	0	-
3	entrada	30,7	35,4	32,7	29,9
	saída	38,0	34,9	27,0	26,8
	diferença	7,7	0,5	5,8	3,1
6	entrada	29,6	33,3	37,8	32,7
	saída	36,8	33,9	32,3	29,4
	diferença	7,2	0,6	5,4	3,3
9	entrada	20,7	25,3	38,6	32,5
	saída	28,3	26,5	33,0	30,0
	diferença	7,6	1,2	5,5	2,5
12	entrada	20,0	20,4	38,9	33,7
	saída	24,3	22,2	33,6	30,8
	diferença	4,3	1,9	5,4	2,8
15	entrada	14,3	16,1	39,1	
	saída	20,8	16,0	33,4	
	diferença	6,5	-0,1	5,8	
18	entrada	11,5	14,4		
	saída	20,0	15,9		
	diferença	8,5	1,5		
21	entrada	9,0	9,4		
	saída	11,8	10,0		
	diferença	2,8	0,6		
22	entrada	9,0			
	saída	10,6			
	diferença	1,6			

Quadro 3B - Teor de umidade dos grãos e temperatura do ar na massa de grãos, observadas nas posições de entrada e de saída do ar de secagem na câmara com as respectivas diferenças, antes e depois de cada revolvimento, para o teste com intervalo de revolvimento de 4 h

Tempo de secagem (h)	Posição na câmara	Teor de umidade (% b.u.)		Temperatura (°C)	
		antes revolv.	depois revolv.	antes revolv.	depois revolv.
0	entrada	44,2	-	22,5	-
	saída	44,2	-	22,5	-
	diferença	0	-	0	-
4	entrada	41,8	42,3	35,5	30,8
	saída	44,2	43,2	28,4	28,3
	diferença	2,4	0,9	7,1	2,5
8	entrada	39,8	41,5	38,5	32,6
	saída	43,0	40,6	34,2	29,7
	diferença	3,2	-1,0	5,4	2,8
12	entrada	33,6	34,2	41,7	40,3
	saída	36,7	35,5	35,6	36,2
	diferença	3,1	1,2	6,1	4,1
16	entrada	23,8	26,5	41,3	35,4
	saída	29,1	26,0	36,3	32,1
	diferença	5,3	-0,5	5,0	3,3
20	entrada	19,2	21,1	41,1	36,2
	saída	24,3	23,1	34,8	33,7
	diferença	5,1	2,0	6,3	2,5
24	entrada	16,4	18,4	41,9	
	saída	19,0	17,2	36,6	
	diferença	2,6	-1,1	5,3	
28	entrada	13,9	14,2		
	saída	15,4	14,7		
	diferença	1,5	0,5		
30	entrada	11,8			
	saída	13,6			
	diferença	1,9			

Quadro 4B - Teor de umidade dos grãos e temperatura do ar na massa de grãos, observadas nas posições de entrada e de saída do ar de secagem na câmara com as respectivas diferenças, antes e depois de cada revolvimento, para o teste com intervalo de revolvimento de 5 h

Tempo de secagem (h)	Posição na câmara	Teor de umidade (% b.u.)		Temperatura (°C)	
		antes revol.	depois revol.	antes revol.	depois revol.
0	entrada	37,5	-	26,8	-
	saída	37,5	-	26,8	-
	diferença	0	-	0	-
5	entrada	31,2	33,0	37,2	33,6
	saída	36,6	34,2	32,0	31,9
	diferença	5,4	1,2	5,2	1,7
10	entrada	24,5	29,3	39,6	38,3
	saída	35,2	28,6	35,4	35,0
	diferença	10,8	-0,8	4,2	3,3
15	entrada	15,0	19,5	41,0	36,1
	saída	25,5	18,0	35,9	31,9
	diferença	10,5	-1,5	5,1	4,2
20	entrada	11,1	11,4	43,5	37,4
	saída	12,4	12,0	38,9	34,2
	diferença	1,3	0,6	4,6	3,2
21	entrada	11,6			
	saída	13,3			
	diferença	1,7			



Quadro 5B - Teor de umidade dos grãos e temperatura do ar na massa de grãos, observadas nas posições de entrada e de saída do ar de secagem na câmara com as respectivas diferenças, antes e depois de cada revolvimento, para o teste com intervalo de revolvimento de 6 h.

Tempo de secagem (h)	Posição na câmara	Teor de umidade (% b.u.)		Temperatura (°C)	
		antes revolv.	depois revolv.	antes revolv.	depois revolv.
0	entrada	32,4	-	31,1	-
	saída	32,4	-	31,1	-
	diferença	0	-	0	-
6	entrada	24,8	26,9	38,9	34,9
	saída	29,7	26,9	34,3	31,8
	diferença	4,8	0	4,6	3,1
12	entrada	18,4	19,6	40,9	36,6
	saída	24,5	20,1	36,5	34,0
	diferença	6,2	0,5	4,4	2,6
18	entrada	11,0	11,9	41,1	38,5
	saída	12,3	11,6	36,9	34,3
	diferença	1,3	-0,3	4,2	4,2
19	entrada	11,1		41,0	
	saída	12,5		37,2	
	diferença	1,4		3,7	