

VANIA FURTADO ASSUNÇÃO ARBEX GUIDA

INFLUENCIA DA TEMPERATURA, FLUXO DO AR
E ALTURA DA CAMADA DE GRÃOS NA SECAGEM DE
CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DESPOLPADO EM
SECADOR EXPERIMENTAL DE CAMADA FIXA

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Mestrado em Ciência
dos Alimentos para obtenção do título de
«Mestre».

Orientador
Prof. Dr. EVÓDIO RIBEIRO VILELA

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

1994

A Deus

OFEREÇO

**Ao meu esposo João Carlos e
ao meu filho João Paulo,
pela força, carinho e
compreensão**

**Aos meus pais, Caio e Maria José,
aos meus irmãos, sobrinhos e aos
meus sogros Paulo e Martha
pelo apoio e incentivo**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), especialmente ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) pela oportunidade concedida.

À Capes e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos,

Aos professores e funcionários da Usina de Processamento de Café por permitirem a sua utilização e me auxiliarem na realização do experimento.

Ao Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilela, pela oportunidade de trabalhar sob sua orientação, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade.

Os Profs. Adimilson Bosco Chitarra, Maria Isabel Fernandes Chitarra, Antônio Marciano da Silva, pelo apoio e incentivo.

Aos Professores, Funcionários e colegas do Departamento de Ciência dos Alimentos e a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	x
SUMMARY	xii
I INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 Características do grão do café	04
2.2 Preparo do café	05
2.2.1 Preparo por via seca	05
2.2.2 Preparo por via úmida	06
2.3 Secagem do café	13
2.4 Secagem do café despulpado	15
2.5 Secagem em camada fixa	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Secador experimental	25
3.2 Procedimento experimental	27
3.3 Análise estatística dos resultados	28
3.4 Classificação pelo aspecto	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Efeito da temperatura de secagem e altura da camada de café no tempo total de secagem	30
4.1.1 Aspecto do café	36
4.2 Efeito do fluxo do ar e período de descanso na secagem .	39
4.2.1 Efeito do fluxo do ar e período de descanso no tempo total de secagem	39
4.2.2 Efeito do fluxo do ar e período de descanso no tempo de secagem no secador	46
4.2.3 Aspecto do café	47
5 CONCLUSÕES	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	54

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Valores médios do tempo total de <i>secagem</i> do café despolpado (horas), com fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, em função da temperatura de <i>secagem</i> e altura da camada (cm)	31
2	Classificação por aspecto do café despolpado com fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, sem período de descanso, para as temperaturas de <i>secagem</i> de 45 e 70°C e alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm	36
3	Valores médios do tempo total de <i>secagem</i> do café despolpado (horas), com temperatura de <i>secagem</i> de 70°C e altura da camada de café de 40 cm, em função do fluxo de ar de <i>secagem</i> e período de descanso	43

Tabela	Página
4 Valores médios do tempo de secagem no secador (horas) do café despulpado, com temperatura de secagem de 70°C e altura da camada <i>de</i> café de 40 cm, em função do fluxo do ar de secagem e período de descanso	46
5 Classificação por aspecto do café despulpado com altura da camada de café de 40 cm e temperatura do ar <i>de</i> secagem de 70°C, para os períodos de descanso de 0, 2 e 4 horas, e fluxos da as <i>de</i> secagem de 16 e 63 m ³ .min ⁻¹ .m ⁻² .	48

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema do Secador Experimental	26
2	Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 10 cm e temperatura de secagem de 45 e 70°C ..	32
3	Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 20 cm e temperatura de secagem de 45 e 70°C ..	33
4	Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 30 cm e temperatura de secagem de 45 e 70°C ..	34
5	Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 40 cm e temperatura de secagem de 45 e 70°C ..	35

Figura		Página
6	Curvas de secagem do café para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, temperatura de secagem de 70°C e alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm	37
7	Curvas de secagem do café para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, temperatura de secagem de 45°C e alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm	38
8	Curvas de secagem do café para temperatura de secagem de 70°C , sem descanso e fluxos do ar de 16 e $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	40
9	Curvas de secagem do café para temperatura de secagem de 70°C , descanso de 2 horas e fluxos do ar de 16 e $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	41
10	Curvas de secagem do café para temperatura de secagem de 70°C , descanso de 4 horas e fluxos do ar de 16 e $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$	42
11	Curvas de secagem do café para temperatura de secagem de 70°C , fluxo do ar de $16 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e descanso de 0 horas (sem descanso), 2 horas e 4 horas	44

Figura	Página
12 Curvas de secagem do café para temperatura de secagem de 70°C, fluxo do ar de 63 m ³ .min ⁻¹ .m ⁻² e descanso de 0 horas (sem descanso), 2 horas e 4 horas	45

RESUMO

GUIDA, Vania Furtado Assunção Arbex. Influência da temperatura, fluxo do ar e altura da camada de grãos na secagem de café (Coffea arabica L.) despulpado em secador experimental de camada fixa, Lavras: ESAL, 1994. 57p. (Dissertação - Mestrado em ^{*} Ciênciã dos Alimentos) .

Com o objetivo de avaliar o tempo de secagem e o aspecto do café despulpado utilizando um secador experimental de camada fixa, foram planejadas e executadas duas séries de ensaios. Na primeira serie foi utilizado um fluxo de ar constante de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, sem periodo de descanso, com revolvimento a cada duas horas de secagem, temperaturas de secagem de 45 e 70°C e alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm. Observou-se que o tempo de secagem da temperatura de 45°C foi sempre maior que o dobro do tempo de secagem para 70°C; e que não houve diferença significativa no tempo de secagem entre as diferentes camadas para a temperatura de 70°C. O café apresentou o seu pior aspecto para a maior temperatura e menor tempo de secagem. Na segunda série foi utilizada temperatura de 70°C, altura da camada de café de 40cm,

*
Orientador: Evódio Ribeiro Vilela. Membros da banca: Antônio Nazareno G. Mendes e Vânia Dea de Carvalho.

revolvimento a cada duas horas de secagem, fluxos de ar de 16 e 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e períodos de descanso de 0 horas (secagem contínua), 2 horas e 4 horas. Foi constatado que o fluxo de ar influenciou o tempo total de secagem e o tempo de secagem no secador, sendo que este tempo no menor fluxo de ar foi sempre maior que o dobro no fluxo de ar maior, em todos os períodos de descanso. O período de descanso não reduziu o tempo de utilização do secador, já que não houve diferença significativa para o tempo de secagem no secador entre os períodos de descanso. O fluxo de ar influenciou o aspecto do café, ou seja, quanto menor o fluxo de ar e maior o tempo de secagem do café, melhor o seu aspecto.

SUMMARY

INFLUENCE OF TEMPERATURE, AIR FLOW RATE AND DEPTH OF THE GRAIN IN DRYING PARCHMENT COFFEE (*Coffea arabica* L.) IN A EXPERIMENTAL FIXED-BED DRYER.

Two series of drying experiments were conducted with parchment coffee using a experimental fixed-bed dryer, with the objectives of evaluate the drying time and the quality in terms of aspect. In the first one temperatures of 45 and 70°C and coffee beds of 10, 20, 30 and 40 cm were used. The air flow rate was 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ and the coffee was weighed and revolved every two hours. It was observed that the drying time at 45°C was more than twice the drying time fox 70°C. Also there was no significant difference in the drying time among the different layers at 70°C. The coffee presented its worst aspect for the highest temperature and shorter drying time. In the second experiment a temperature of 70°C was used with a deepness of coffee bed equal to 40 cm where revolving every two hours during drying with an air flow of 16 and 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ and resting periods of zero hours (continuous drying), 2 hours and 4 hours. It was confirmed that the air flow influences the total and drying times of drying, The drying time in the low flow rate was twice times higher than the high flow

rate, for all the resting period. The resting period did not reduce the dryer utilization time since there was no significant difference in the drying time in the dryer between resting periods. The air flow influenced the coffee aspect, that is, the lower the air flow and the longer the coffee drying time, the better the aspect.

I INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que planta e exporta café há muito tempo. Porém, no exame de cotações do café nos mercados internacionais, constata-se a situação de inferioridade dos cafés brasileiros em relação, principalmente, aos da América Central e da Colômbia. A baixa cotação do nosso café tem origem na má qualidade da bebida, a qual resulta do preparo defeituoso, desde a colheita até o ensacamento, e das condições climáticas das regiões produtoras (Puzzi, 1986).

Existem duas maneiras de se preparar o café: via seca e via úmida. Estes processos podem ter a qualidade final do produto afetada por diferentes fatores, tais como: zonas ecológicas de produção, condições climáticas, presença de microorganismos, etc. No Brasil a maioria dos cafeicultores prepara seus cafés pelo processo denominado via seca, obtendo o café de terreiro, que é mais susceptível aos fatores anteriormente citados. Os cafés despulpados, por outro lado, quando bem preparados, apresentam invariavelmente na classificação qualitativa, bebida suave, mole ou estritamente mole, seja qual for a região de produção. Este processo recebeu a denominação de preparo por via úmida por ser indispensável o emprego de água.

O despulpamento é feito com a finalidade de retirar a mucilagem açucarada, que é foco do ataque de microorganismos, possíveis causadores de bebida de qualidade inferior.

Segundo Hashizume e Matiello (1989), nas regiões tradicionalmente produtoras de cafés "bebida Rio", o despulpamento é uma operação necessária para a melhoria da qualidade final do produto.

O capricho na colheita e secagem do café são os principais cuidados que proporcionam o lucro do cafeicultor, pois a bebida, o aspecto e o tipo é que ditarão o preço final do seu produto.

No mercado exportador, é de fundamental importância a qualidade do café, que deverá possuir propriedades organolépticas indispensáveis. Essas propriedades estão relacionadas com a eficiência do processamento sofrido pelo produto, sendo de grande influência o método de secagem utilizado (Dorfman, Wirth e Mejia, 1981). Uma secagem mal conduzida poderá acarretar grandes prejuízos ao cafeicultor.

Muito pouco se sabe sobre a importância dos parâmetros de secagem intermitente, tais como temperatura apropriada, período de repouso e taxa de resfriamento. Uma análise minuciosa deste processo pode levar à redução no consumo de energia e aumento no rendimento de um sistema de secagem (Cordeiro et al., 1983).

Pouco também se sabe sobre a secagem do café despulpado. O despulpamento dos cafés, eliminando a casca e mucilagem, reduz as possíveis fermentações, podendo levar à

produção de cafés de melhor qualidade. Segundo Chalfoun e Carvalho (1992) a utilização do despulpamento ainda é pequena, tendendo a crescer na medida em que compensar financeiramente a produção de café de qualidade garantidamente boa.

Sendo assim este trabalho teve por objetivo:

- avaliar o efeito da temperatura de secagem e altura da camada de café sobre o tempo de secagem e aspecto do café despulpado utilizando um mesmo fluxo de ar;

- avaliar o efeito do fluxo do ar e tempo de descanso sobre o tempo de secagem e aspecto do café despulpado a uma mesma temperatura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características do grão de café

Os frutos de café amadurecem desuniformemente devido a floradas em épocas diferentes, e quando colhidos se constituem de uma mistura de tipos diferentes, que têm o teor de umidade variável de acordo com o estágio de maturação. Carvalho (1956) classifica os frutos por ordem de desenvolvimento fisiológico e de seca na árvore da seguinte maneira: (a) verde: fruto imaturo com 55 a 70% de umidade; (b) cereja: fruto maduro com umidade entre 55 a 70%; (c) passa: fruto semi-seco com 35 a 55% de umidade; (d) bóia: fruto semi-seco com teor de umidade entre 25 a 30%; (e) coquinho: fruto seco com 25% de umidade ou menos.

O fruto maduro do café, denominado cereja, compreende quatro partes principais: (a) casca (epicarpo); (b) polpa, mucilagem ou mel do café (mesocarpo); (c) pergaminho; (d) semente (endosperma e embrião).

A mucilagem é formada pelas células do tecido situado entre a polpa e o pergaminho. Sua constituição química é a de um complexo galactomanose, o qual contém 85% de água e 15% de sólidos dos quais 12% são substâncias pecticas e enzimas e 3% são açúcares. Dada a sua natureza, constitui um meio propício ao

desenvolvimento de fungos e bactérias, que produzem os vários tipos de fermentações (Monaco, 1959).

2.2 Preparo do café

O preparo do café pode ser feito por dois procedimentos: por via seca ou café de terreiro e por via úmida ou café despulpado.

2.2.1 Preparo por Via Seca

Na forma de preparo por via seca, atualmente a mais comum no Brasil, os frutos colhidos vão para a secagem constituídos de todas as partes. Deste processo procedem os frutos naturais ou café em fruto, sendo o produto seco denominado café em coco.

Pos este processo, a qualidade do café está na dependência principalmente das condições climáticas locais, no período de colheita e secagem, Geralmente, alta temperatura aliada a alta umidade relativa do ar, condicionam maior atividade microbiológica (bactérias e fungos), responsáveis pelas deteriorações dos frutos na árvore, no chão e no terreiro (Lacerda et al., 1986).

Camargo (1985) e Silva (1991) verificaram que quando a colheita e a secagem do café ocorrem sob condições de elevada e prolongada umidade, a secagem do grão também se dá lentamente. Devido a composição da polpa haverá condições satisfatórias para

o desenvolvimento de fermentações de natureza química e microbiana que deterioram o produto e prejudicam sua qualidade. Sendo assim é recomendado, para a obtenção de um produto de boa qualidade, o despulpamento do café, para eliminar a polpa aquosa de difícil secagem e que é um substrato para o desenvolvimento de microrganismos.

2.2.2 Preparo por Via Úmida

O preparo por via úmida dá origem aos cafés lavados ou despulpados que caracterizam a cafeicultura do México, Colômbia, Quênia, África e países centro-americanos (Begazo e Paula, 1985).

O despulpamento é utilizado para obter um produto de melhor qualidade visando o mercado externo, hoje bastante exigente, ou indicado para regiões que apresentem problemas quanto à qualidade como é o caso da Zona da Mata, em Minas Gerais (Bartholo et al., 1989).

Pode-se resumir as vantagens do despulpamento em relação ao método natural, nos seguintes itens (Vilela, 1991): (1) utilização somente do grão maduro (cereja); (2) redução em 40% do volume - menos espaço no terreiro e secador; (3) redução mecânica da água da casca, polpa e mucilagem; (4) evita fermentações nocivas que poderiam ocorrer na polpa e mucilagem em algumas regiões; (5) matéria-prima homogênea (em torno de 50% de umidade) que possibilita uma secagem mais uniforme e mais rápida.

No Brasil a produção de cafés despulpados é inexpressiva, embora existam grandes possibilidades não só pelos

equipamentos aqui fabricados, como também peles ágios que poderão ser obtidos pela venda de cafés de melhor qualidade, principalmente em regiões com características de bebida "rio". No despulpamento, a matéria prima deverá ser fresca e de preferência com a maior porcentagem de frutos maduros. Nos países produtores de cafés lavados ou despolpados, os frutos maduros são colhidos "a dedo" (Begazo e Paula, 1985 e Castro, 1991).

Na Colômbia a maioria dos cafeicultores preparam o café pelo processo via úmida (despolpado), que quando bem preparado apresenta invariavelmente uma classificação qualitativa de bebida "suave", característica que distingue o café colombiano no mercado mundial.

A produção do café despolpado compreende a colheita, o despulpamento, a fermentação, a lavagem e a secagem.

Na Colômbia, são observados os seguintes cuidados na colheita: (a) deve-se organizar o pessoal de forma a sistematizar a colheita; (b) deve-se colher só os frutos maduros ou quase maduros, um a um, deixando os pedúnculos nos ramos; (c) não colher paus e folhas; (d) não se deve colher frutos verdes nem verde-cana porque a despulpadora os "mordem"; os grãos verde ou verde-cana são difíceis de separar no processo de lavagem e são causadores de mau gosto na bebida; (e) na colheita devem-se fazer tantos repasses quanto forem necessários para evitar que os frutos sequem nos ramos; os frutos secos formam os bóias que não são despolpados pela máquina; deve-se calcular o número de apanhadores que se necessitam para cumprir o ciclo da colheita em 15 dias; (f) deve-se ter o cuidado de não ferir o cafeeiro, pois

as feridas favorecem o ataque de doenças, e prejudicam a colheita seguinte; (g) evitar exposição ao sol dos cestos e embalagens cheios; o amontoamento, o calor e a pouca ventilação favorecem a fermentação indesejável do cereja, a qual mancha o pergaminho, dando assim um café de baixa qualidade (Ruiz Aguas, 1988).

Depois da colheita segue-se o processo de despulpamento, que consiste na retirada da casca do fruto com posterior fermentação e lavagem dos grãos, retirando-se a mucilagem, substrato adequado para o desenvolvimento de microorganismos que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto (Bartholo et al., 1989).

Matiello et al. (1989) avaliaram os resultados do despulpamento, realizado pelos produtores da Zona da Mata de Minas Gerais, quanto aos aspectos qualitativos do café. Eles compararam os cafés preparados por despulpamento e os comuns, de terreiro, verificando uma grande melhoria na bebida, independente do processo de secagem usado, indicando que o despulpamento melhora invariavelmente a bebida. Verificaram, ainda, que o café despulpado não apresentou a coloração característica, com a cor "azulada", merecendo maiores cuidados nesse particular, provavelmente através de uma secagem mais lenta. Concluíram que a prática de despulpamento, com alguns cuidados adicionais na secagem, representa uma boa opção para a melhoria da qualidade e aumento da rentabilidade para os cafeicultores daquela região ou para regiões semelhantes.

Lacerda et al. (1986) com a finalidade de estudar a influência dos sistemas de colheita e preparo na qualidade do café, nas diferentes regiões cafeeiras do Estado de São Paulo, concluíram, após dois anos de estudo, que o café despulpado, independente do clima e da altitude, foi sempre superior ao café em coco em tipo e bebida.

No Brasil a colheita é feita por derrixa. Este tipo de colheita mistura os cafés já parcialmente secos (pretos) com os cafés cereja (maduros) e verdes. A obtenção de cereja para o despulpamento é feita através de lavadores.

O lavador é uma das estruturas mais importantes na fase de preparo do café, uma vez que proporciona a separação não só das impurezas como também dos frutos nos diferentes estádios de maturação. A separação dos frutos é feita pela densidade, dependendo dos diferentes estádios de desenvolvimento, ou dos diferentes teores de umidade. Assim, a fração constituída pelos frutos verdes e cerejas afunda na água, saindo por uma bica do lavador e recebendo a denominação de "cereja". A outra fração, constituída por frutos passas e Secos, que são mais leves e não afundam, recebem a denominação de "bóia", e sai por outra bica. A lavagem deve ocorrer no mesmo dia da colheita do café [Bartholo et al., 1989].

Os lavadores podem ser de alvenaria (Maravilha) ou mecânicos. Dos lavadores o café bóia vai direto para a secagem e o café cereja e verde são conduzidos para os despulpadores.

O sistema completo do equipamento de despulpar consta de: (1) peneira antes do despulpador para separar os grãos verdes

miúdos, despulpados que já vem da lavoura e outras impurezas que possam ter passado pelo lavador; (2) despulpador; (3) outra peneira posterior para separar o despulpado do verde (Vilela, 1991).

Os despulpadores são máquinas que submetem o café cereja a uma pressão entre um cilindro de chapa de cobre com mamilos e um encosto de ferro com cobertura de borracha. Ao passar por entre estas duas peças, a casca sai de um lado e os grãos de café, envolvidos pelo pergaminho e mucilagem, saem do outro lado (IBC, 1985). Este trabalho é facilitado pela propriedade escorregadia da mucilagem. Frutos ainda verdes ou passa, com teores abaixo de 45% de umidade não podem ser despulpados porque a casca é dura. Após o despulpamento, os grãos são encaminhados aos tanques de degomagem.

Matiello, Aviles e Pinheiro (1986) estudando uma forma de eliminar a mucilagem do café sem efetuar o despulpamento, tomaram frutos maduros em uma região tradicionalmente produtora de café bebida Rio, e, manualmente, amassaram ligeiramente os frutos visando deslocar, internamente, as sementes. A seguir colocaram os frutos para fermentar, submersos em água, durante 48 horas, sendo então lavados e secos ao sol. Analisando os resultados verificaram que os frutos amassados e fermentados deram torração característica à semelhança do café despulpado normal e a sua bebida deu o padrão Dura, igual o tratamento despulpado.

Hashizume e Matiello (1989) com a finalidade de aumentar a porcentagem de café despulpado, estudaram a

possibilidade de se aproveitar outras frações de café como o café seco e o café passa, efetuando-se a determinação de sua qualidade em comparação com o despulpado de café cereja tradicional. De um lote de café colhido por derrixa foram separados manualmente três sub-lotes de café: cereja, passa e seco. O cereja foi despulpado normalmente, o passa e o seco foram despolpados após 18 horas de maceração em água. Parte do lote foi seco em terreiro, sem despulpar. Pelos resultados obtidos foi concluído que, para regiões produtoras de cafés Rio, o despulpamento das frações passa e seco após maceração em água melhora a qualidade do café, tanto na bebida como no tipo, quando comparados com o processo de seca de café caco feita em terreiro.

Em seguida ao despulpamento faz-se a degomagem. A degomagem é a remoção da goma açucarada ou mucilagem, que pode ser feita por processos mecânicos, por fermentação natural ou processo biológico e por meios químicos. A mucilagem tem de ser removida pois dificulta o manuseio e a secagem, e a sua fermentação lenta durante a secagem pode prejudicar a qualidade do café (IBC, 1985).

O objetivo da fermentação é hidrolisar a mucilagem para facilitar sua remoção final durante a lavagem subsequente. Se restos de mucilagem permanecem presentes durante a secagem, existe o risco de fermentação indesejável, que prejudica a qualidade do café. Bioquimicamente falando, a hidrólise de pectinas é causada por uma pectinase existente no fruto, mas a reação é acelerada por diferentes microorganismos, tais como *Saccharomyces*, que também possuem propriedades pectinolíticas. A

taxa de hidrólise depende da temperatura; conseqüentemente é necessário adaptar o tempo do período de fermentação para as condições ambientais existentes. Alguns microorganismos podem causar perda de "flavor" ao desenvolverem-se, particularmente em prolongadas fermentações. É importante prevenir o desenvolvimento de espécies prejudiciais (mofos e bactérias aerogênicas) para estimular o desenvolvimento de espécies acidogênicas. O controle do pH é importante para evitar formação excessiva de ácidos tais como ácido propiônico (Clarke e Macrae, 1987).

O processo de fermentação natural, que é o mais utilizado, consiste em levar o café para tanques de alvenaria por um período de 12 a 24 horas, onde uma fermentação natural vai ocorrer e as enzimas pectinolíticas vão atuar desdobrando as substâncias pécnicas que se tornam solúveis (Vilela, 1991).

Se a degomagem for retardada, principalmente devido a temperatura ambiente baixa, várias modificações podem ser introduzidas no processo com a finalidade de auxiliar a fermentação, tais como: aquecimento da água, adição de fermentos ou líquidos de degomagem, cobertura dos tanques com encerados, etc. Fermentações muito prolongadas poderão comprometer a qualidade do café.

Foram feitas muitas tentativas para eliminar quimicamente a mucilagem após o despulpamento, com a finalidade de acelerar a fermentação. Os ácidos (clorídrico e sulfúrico), os álcalis (soda ou potassa cáustica) e os sais alcalinos (carbonato de sódio) davam resultados promissores nos laboratórios, mas falhavam totalmente quando aplicados em escala industrial (IBC, 1985).

Begazo (1970) submeteu o café despulpado a vários tratamentos de degomagem, usando: fermentação natural comum e **prolongada**, soda cáustica, fermento Fleischman e Mucilax, submetendo a degomagem a três tempos (20 minutos, 18 horas e 36 horas) e retirando, mensalmente, durante um ano, amostras do café armazenado para verificação da "prova da xícara" e concluiu que não houve influência do método de degomagem e do tempo de armazenamento na qualidade da bebida; entretanto, o aumento do tempo de degomagem proporcionou uma perda do peso do café após o beneficiamento.

Após o término da operação de degomagem, que é reconhecida pelo ruído característico quando se coloca os grãos entre os dedos, segue-se a operação de lavagem, que deve ser enérgica e bem feita, para evitar a presença de resquícios de mucilagem e impedir a boa caracterização dos despulpados na torração (IBC, 1985).

Terminada a lavagem, o café é conduzido aos terreiros ou secadores, para a secagem.

2.3 Secagem

Lacerda Filho (1986) afirma que a secagem é uma das mais importantes etapas no processamento de café, tanto no que diz respeito ao consumo de energia como na influência que essa operação tem sobre a qualidade final do produto.

A secagem de café no Brasil é feita por dois métodos que são extremos dentro da escala de evolução tecnológica desse

tipo de operação de produtos agrícolas: (a) esparramando-se o produto em terreiros de chão batida ou pavimentado; e (b) em secadores, fazendo circular, através dos ventiladores, ar aquecido por queima de lenha ou combustíveis (Vilela, 1977).

A secagem artificial é feita em secadores mecânicos, muitas vezes inadequados, uma vez que a maioria é adaptada de protótipos desenvolvidos, inicialmente, para a secagem de grãos de baixa umidade inicial. Esses secadores, além do alto custo de investimento, da exigência de tecnologia mais apurada, apresentam alto custo operacional, devido ao grande consumo de energia e ao baixo rendimento térmico, que é definido como a relação entre a energia real utilizada para evaporar a água e a energia fornecida pelo combustível (Iturra e Villa, 1983).

Para a realização da secagem artificial, existem basicamente 5 tipos de secadores, que são classificados quanto ao sentido da movimentação do ar e dos grãos: fluxos cruzados, fluxos concorrentes, fluxos contracorrentes, camada fixa e em cascata. Quanto ao modo de operação podem ser contínuos ou intermitentes (Oliveros-Tascón e Pinheiro Filho, 1985).

O processo de secagem intermitente inclui dois estágios intercalados: o estágio de secagem ativa e o estágio de repouso. Pode-se usar diferentes temperaturas para cada estágio, podendo-se variar também a espessura da camada de café. Brook e Bakker-Arkema (1978) encontraram que uma alta temperatura de secagem pode ser seguramente aplicada em estágios iniciais de secagem em um secador multi-estágio. Os autores também notaram a possibilidade de obtenção de milho de alta qualidade, seco pelo

processo intermitente quando comparado com o processo de secagem continua.

2.4 Secagem do café despulpado

O café despulpado apresenta-se como uma matéria-prima mais uniforme para a secagem em relação ao fruta cereja, por não ter a casca, palpa e mucilagem. Apesar disso o seu teor de umidade ainda permanece relativamente alto (em torno de 50%), porém o seu tempo de secagem é reduzido à metade em relação ao café em coco.

A secagem pode ser feita em terreiros ou com auxílio de secadores. O método de secagem a ser empregado depende de diversos fatores, dentre eles o nível de instrução do produtor e do operador, do poder aquisitivo do produtor, do volume de produção, da velocidade da colheita, do sistema de recepção e do fim a que se destina o produto (Osório, 1982).

A secagem em terreiros é feita em camadas finas em terreiros de cimento, de tijolos, de ladrilhos ou mesmo de chão batido.

Ghosh (1969) comparou as espécies de café Arábica e Robusta preparados por via úmida no leste da África. Duas amostras de café Arábica e Robusta processadas via Úmida foram secas ao sol simultaneamente para estudar suas características de secagem. Foi observado que durante o estágio úmido, isto é, quando a umidade da superfície está sendo removida, as taxas de secagem de ambas as espécies são comparáveis, enquanto que durante os últi-

mos estágios o Robusta seca em uma taxa consideravelmente mais rápida que o Arábica. O estágio do despulpado seco (11% de umidade, base úmida) é alcançado pelo Robusta em cinco dias de secagem, enquanto que para o Arábica mais dois dias são necessários, Neste experimento a secagem continuou além do estágio seco, o que foi interessante para notar que no oitavo dia de secagem ambas as espécies estavam com umidade abaixo de 7%, após o qual o Robusta alcançou um estado fixo, enquanto que o Arábica mostrou sinais de remoção de umidade adicional pela secagem continuada. No caso do café Arábica, a secagem ao sol requer considerável supervisão no frequente revolvimento dos grãos e também na sua cobertura durante as horas mais quentes de sol, com o objetivo de evitar a quebra do pergaminho. O pergaminho do café Robusta é mais resistente que do Arábica, e como a qualidade do Robusta é inferior a do Arábica, o grau de supervisão requerido para secagem ao sol do Robusta deve ser muito menor do que para o Arábica. Uma quantidade considerável de investigações experimentais e trabalhos desenvolvidos sobre secagem mecânica do café despulpado usando a espécie Arábica tem sido desenvolvida no leste da África. Unidades de secagem comercialmente disponíveis têm sido desenvolvidas como consequência, e estas podem ser, seguramente, usadas para secagem do Robusta. O café Arábica seco mecanicamente necessita ser terminado de secar ao sol com o propósito de clareamento antes da secagem se completar com o objetivo de conseguir a cor característica do grão; normalmente esta operação não é executada para o café Robusta, apesar do Robusta de cor mais clara ser preferido para o comércio.

A secagem do café compreende um estágio chamado úmido, com umidade de 60 a 30%, e um estágio higroscópico, abaixo de 30%. Gibson, citado por Clarke e Macrae (1987), distingue dois estágios adicionais no café despulpado: o estágio "branco", quando a umidade é reduzida a 30%, mas que deve ser conduzida na sombra para prevenir rachadura ou quebra do pergaminho; e o estágio preto "suave", onde a umidade é reduzida de 30 a 23,8, mas que deve ser conduzida na presença de sol leve. Durante a secagem do estágio úmido mudanças enzimáticas podem ocorrer, e durante o estágio higroscópico transformações químicas podem acontecer em temperaturas altas. Rachaduras e quebras de pergaminho, que podem surgir de movimentos mecânicos ou outras causas, são conhecidas por serem indesejáveis para a qualidade na secagem ao sol.

A secagem ao sol é o método mais amplamente usado. No Kenya são observados cuidados para garantir que esta operação tenha sucesso. A secagem normalmente é conduzida em bandejas, com coberturas que podem ser usadas durante as horas mais quentes do dia. Com o café esparramado em camadas de 10 a 15 kg por m^2 , o período de secagem será entre 10 a 15 dias. A secagem em superfícies sólidas como o concreto não é recomendada, pois o constante revolvimento manual que deve ser feito produz ranhuras no pergaminho, que se transformam em centros de proliferação de microorganismos. A secagem mecânica também é largamente usada, devido as dificuldades de grandes produtores secar o café naturalmente. Entretanto, cuidados devem ser tornados com as condições de secagem, especialmente com a melhoria da qualidade;

por exemplo, no estágio higroscópico a temperatura não deve estar acima de 55°C (Clarke e Macrae, 1987).

Para que os cafeicultores que têm pouco espaço no terreiro possam secar seu café ao sol, necessitando de um mínimo de 100 m² por cada 500 arrobas de café despulpado, na Colômbia se desenharam os seguintes tipos de secadores ao sol: canilhas ou passeiras (tipo de caixas de madeira com fundo de madeira ou metal), secadores Elba [mesas feitas de madeira ou cimento com teto móvel], secadores de Anjeo (espécie de mesa com tampo de malha ou tela grosseira) e secadores Elbas com trilhos (secadores em forma de "armário" com opção de recolhimento das mesas), Ruiz Aguas (1988).

Uma investigação conduzida com o café Arábica para estabelecer um tempo indicado para os vários estágios do processamento indicaram que o despulpamento, lavagem e classificação juntos consomem aproximadamente 0,1%; fermentação 6,4%; secagem ao sol 52,2% e acondicionamento final do remanescente 41,3% do tempo total de processamento (Ghosh, 1969).

Na América Latina e em muitos outros países do terceiro mundo, o uso de secadores tem sido restrito a regiões de maior desenvolvimento agrícola (Corrêa, 1982).

Segundo Hall, citado por Silva (1991) as vantagens da secagem mecânica comparada com a secagem ao sol são as seguintes: (a) antecipação da colheita, reduzindo as perdas no campo; (b) planejamento do calendário agrícola, o que possibilita usar o tempo mais racionalmente; e (c) execução da secagem independente das condições climáticas.

Na Colômbia, Ruiz Aguas (1988) relata que os secadores mecânicos mais utilizados são: *Silo Cenicafé*, *Guardiolas* e *Silo Lister*.

O Centro Nacional de Investigação do Café (CENICAFE) desenvolveu o silo secador *Cenicafé*, com capacidade para 2000 kg de café despulpado seco, composto por dois compartimentos: um de secagem e outro de pré-secagem. O ar quente que sai do ventilador é conduzido por um túnel, no qual há quatro comportas que permitem a entrada de ar, alterando sua direção através da massa de café (ora no sentido ascendente, ora no descendente). Existem quatro comportas de saída que se abrem e se fecham em forma oposta à entrada do ar quente e seco. Dois túneis adicionais permitem o bom uso do calor do ar que foi de um compartimento para transferir ao outro e efetuar no primeiro a secagem e no segundo uma pré-secagem. Este silo permite secar uma camada de café de 40 cm de espessura, em 24 a 26 horas no primeiro compartimento. Para acabar de secar o café do segundo compartimento é necessário 6 a 8 horas adicionais. Nesta operação a direção do ar deve ser invertida a cada 12 horas. É necessário estar observando o ponto de secagem do café em todo o compartimento para que não ocorra secagem excessiva e perda de peso (Ruiz Aguas, 1988).

As *Guardiolas* consistem num cilindro horizontal de lâmina perfurada, que gira num eixo tubular oco pelo qual penetra o ar. O cilindro é dividido em quatro compartimentos iguais, que se enchem separadamente, Cada compartimento tem uma série de tubos perfurados, unidos ao eixo, pelos quais se distribui o ar, e uma série de lâminas ou paletas encarregadas de movimentar o

café. O combustível usado pode ser à base de lenha, palha, carvão, etc. Com o café em movimento pode ser empregado temperaturas do ar de até 80°C , com acompanhamento para evitar incendio e danos no grão (Ruiz Aguas, 1988).

O Silo Lister é um secador ou extrator de umidade Lister, com compartimentos que se chamam silos. A máquina extratora compreende um motor e um ventilador. O ar insuflado pelo ventilador passa por um condutor central que o distribui a quatro silos, dois de cada lado do condutor, por comportas colocadas na parte inferior destes. Cada silo está provido de um silo de malha acima do qual se deposita uma camada de café molhado de 40 cm de espessura. Várias comportas colocadas na parte exterior dos silos e de janelas de comunicação, permitem dirigir o ar de maneira que atravesse a camada de café algumas vezes de baixo para cima e outras em forma inversa, com o qual se consegue uniformizar a secagem sem necessidade de mover o café, como nos outros secadores. O ar utilizado pode ser aquecido pelo motor de 3 a 5°C acima da temperatura ambiente (Ruiz Aguas, 1988).

Um secador muito utilizado no Brasil para secagem do café despulpado é o secador cilíndrico ou tubular rotativo. É um tipo de secador para secagem continua por não apresentar câmara de descanso, mas que pode ser intercalado com paralisações e descanso no próprio secador ou em tulhas. É um dos secadores mais eficientes devido a movimentação do café e a distribuição mais uniforme do ar quente em contato com todos os frutos em todo o secador. Os secadores rotativos levam em média de 35 a 40 horas para a seca completa, sem necessidade de pré-secagem em terreiro,

2.5 Secagem em camada fixa

Na secagem em camada fixa, ou camada estática de grãos, o produto permanece em um recipiente de fundo perfurado, por onde passa o ar de secagem, insuflado por um ventilador. O ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa de grãos. A troca de umidade que ocorre entre os grãos e o ar acontece em uma região denominada zona de secagem. Esta zona de secagem move-se no sentido da camada inferior para a superfície da massa, conforme ocorrer o prosseguimento da secagem. Os grãos da camada inferior atingem a umidade de equilibria com o ar, antes dos grãos da camada superior. Podem ser, então, estabelecidos dois gradientes distintos durante a secagem: o primeiro é o gradiente de umidade dos grãos estabelecidos entre as camadas inferior e superior da massa, e o segundo é o gradiente de temperatura (Lacerda Filho, 1986).

O secador de camada fixa está sendo muito utilizado entre os pequenos e médios cafeicultores no Brasil, para café em coco, principalmente devido ao seu baixo custo para aquisição. Porém os frutos tem que ser revolvidos de duas em duas horas devido ao alto teor de umidade e para uniformização.

Inicialmente em Porto Rico o *secador* de camada fixa não teve muito sucesso porque a alta temperatura do ar (acima de 65°C) exigia uma movimentação manual quase que continua para prevenir que secasse muito a camada inferior do despulpado. O trabalho de movimentação foi dispendioso e cansativo. Posteriores testes de laboratório mostraram que é possível secar o café

despolpado em camada estática se na fim do ciclo de secagem o despolpado é bem revirado (Boyce e Phillips, 1969).

Oliveros Tascón e Pinheiro Filho (1985) com o objetivo de melhorar a eficiência do silo secador Cenicafé e usando café despolpado, estudaram dois níveis de fluxo de ar (12 e 15 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), dois níveis de temperatura do ar de secagem (50 e 60°C) e três tempos de inversão (7, 9 e 12 horas). Foi verificado que, para as variáveis analisadas, do ponto de vista prático foram obtidos iguais resultados para uniformidade do conteúdo final de umidade, eficiência e tempo de secagem. Eles afirmaram ainda que a secagem com inversão do sentido do fluxo do ar (sistema SIFA) apresenta vantagens sobre o convencional já que melhora a uniformidade do conteúdo de umidade final do produto.

Castro (1991) com o objetivo de avaliar o efeito do despolpamento no consumo específico de energia e na qualidade da bebida, secou grãos de café despolpado e em cereja em leito fixo a temperatura de 60, 70 e 80°C e revolvimento da massa de grãos a intervalos de uma, duas e três horas. Nas condições estudadas, verificou que o despolpamento proporcionou ao café um melhor tipo, e que o consumo específico de energia na secagem do café cereja sem despolpar é 1,3 vezes maior do que na secagem do café despolpado. Como não constatou influência significativa do intervalo de revolvimento da massa de grãos, recomendou utilizar o intervalo de revolvimento de três horas devido à maior facilidade em se realizar a operação de secagem.

Rigitano et al. (1964) planejaram e executaram em 1956 duas séries de ensaios; na primeira, de pequenos intervalos, a

matéria prima constituiu-se de cerejas despulpados, temperaturas de secagem de 45, 60 e 75°C, períodos de secagem e descanso de 1/2 X 1 hora, 1/2 X 2 horas, 1 X 2 horas, 1 X 4 horas e secagem contínua, Na segunda série, de grandes intervalos, utilizaram-se cerejas despulpados, cerejas não despulpados e café de derriça, temperatura de 65°C e períodos de secagem e de descanso de 2 X 10 horas, 4 X 10 horas e secagem contínua. Em 1961 foram feitos novos ensaios com café cereja despulpado e não despulpado, temperaturas de secagem de 45, 60 e 75°C, tempos de secagem de 1, 2, 3 e 4 horas, com descanso até resfriamento, aproximadamente de 30°C e secagem contínua. Com base nos elementos colhidos nesses ensaios concluíram que: (a) o parcelamento reduziu o tempo total de secagem para o café cereja não despulpado, porém essa redução de tempo não ficou caracterizada para o café despulpado; (b) a redução do tempo total de secagem, no parcelamento, foi maior para as temperaturas mais baixas; (c) o parcelamento da secagem não influenciou, significativamente, nas propriedades organolépticas do café; (d) períodos muito curtos de secagem (parcelamento excessivo) tornam a operação pouco prática e trabalhosa,

Dorfman (1980) visando verificar o funcionamento de um secador denominado "barcaça", e secando café em coco, concluiu que é viável a secagem de camadas estacionárias de café com espessura de 0,50m (dezessete vezes mais que em um terreiro), sem movimentação do produto, num secador despojado de requintes, desde que se utilizem vazões da ordem de 60 m³/(min.tonelaça de café).

Lacerda Filho (3986) trabalhando com a secagem de café em coco em leito fixo e utilizando temperatura do ar de secagem

de 55°C , concluiu que não houve comprometimento da qualidade de bebida, sendo esta superior à do produto seco em terreiro com diferentes tipos de material de construção.

Cordeiro et al. (1483) estudando a influência da temperatura e tempo de repouso na secagem do café em coco (não despulpado), em secador de camada fixa, submeteram o produto às temperaturas de secagem de 50 , 60 e 70°C , durante 9, 7 e 4 horas respectivamente. A massa foi aerada com o mesmo fluxo de ar nas condições de secagem, após períodos de repouso de 0, 6 e 12 horas e não foi feito o revolvimento da massa de grãos. Observou-se que o tempo de repouso possibilitou a remoção da umidade da massa de grãos e a redução do gradiente de umidade e do consumo de energia, sem movimentação do produto, Eles concluíram que a temperatura de secagem de 50°C e o tempo de repouso de 12 horas apresentou melhores resultados e o consumo de energia foi reduzido, propiciando maior eficiência **térmica**.

Vieira (1994) utilizando um secador experimental de camada fixa, estudou a influência do fluxo de ar e tempo de repouso na secagem do café em coco. Utilizando uma temperatura fixa de 70°C e altura da camada de café de 20 cm, utilizou fluxos do ar de secagem de 16, 33 e $63\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$, períodos de secagem 30 e 60 minutos e períodos de repouso de 60 e 120 minutos. Analisando os resultados, observou uma diminuição significativa tanto no tempo total de secagem como no tempo de secagem em que o café permanece no secador, em função do aumento do fluxo de ar. Esta diminuição teve maior efeito quando utilizou período de secagem de 30 minutos e período de repouso de 60 minutos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Usina de Processamento de Café localizada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Foi utilizado o café (*Coffea arabica* L.) despulpado, procedente da Fazenda Cafua, situada no município de Lavras, M.G.

O sistema utilizado na colheita do café foi o de derriça no pano. O café foi submetido à lavagem para limpeza e separação do café cereja e verde do café bóia no mesmo dia da colheita. O despulpamento do café cereja foi feito com despulpador mecânico e a degomagem natural feita em tanques de alvenaria. O café degomado foi lavado e conduzido para a secagem.

3.1 Secador Experimental

Foi utilizado um secador experimental de camada fixa, dotado de câmara de secagem cilíndrica, de quatro resistências elétricas, sendo duas de 1000 watts e duas de 1500 watts para aquecimento do ar, registro de gaveta com função de regular o fluxo de ar e de um ventilados movido por um motor de 5 CV, para insuflar o ar dentro do secador (Figura 1).

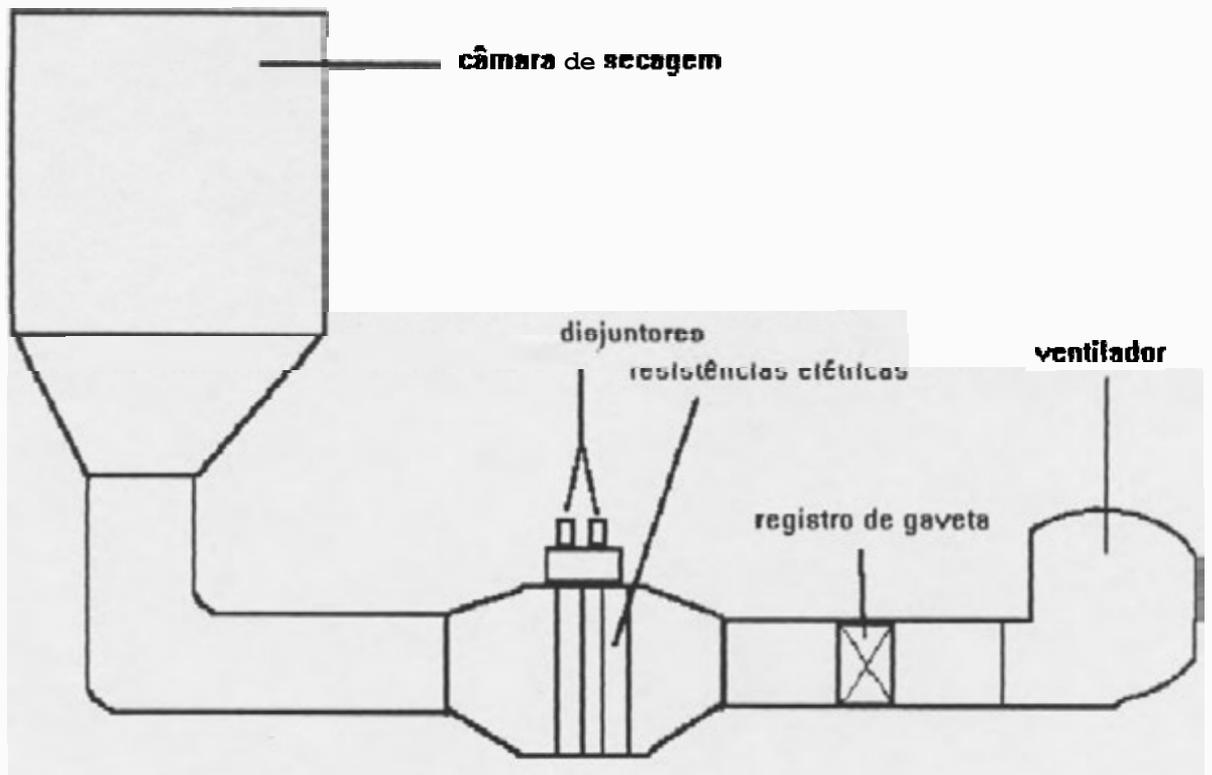


FIGURA 1 - Esquema do Secador Experimental.

A câmara de secagem foi construída em forma cilíndrica com chapa de aço galvanizado de 2 mm de espessura, com diâmetro de 370 mm e com fundo telado.

Na entrada do ventilador foi instalado um diafragma para controle do fluxo de ar.

3.2 Procedimento experimental

Foram conduzidos dois experimentos. No primeiro foram realizados testes com duas temperaturas de secagem, 45°C e 70°C. Para cada temperatura foram utilizadas camadas de café com altura de 10, 20, 30 e 40 cm, fluxo do ar de 63 m³.min⁻¹.m⁻² e revolvimento da massa de café a cada duas horas de secagem.

No segundo experimento, para a temperatura de 70°C e camada de 40 cm, foram realizadas secagens com fluxo de ar de 63 m³.min⁻¹.m⁻² e de 16 m³.min⁻¹.m⁻², com descanso de 4 horas, descanso de 2 horas e sem descanso, sendo feito o revolvimento da massa de café a cada duas horas de secagem.

O teor de umidade inicial e final do produto foi determinado no início e no final de cada teste de secagem, pelo método de estufa a 105°C por um período de 24 horas, conforme recomendação da AOAC (1970).

Para o acompanhamento da perda de umidade e confecção das curvas de secagem, foi realizada a pesagem do café a cada duas horas de secagem e utilizada a matéria seca inicial para os cálculos.

A leitura da temperatura de secagem foi realizada a intervalos de duas horas, por meio de termômetro colocado antes da câmara de secagem.

O fluxo do ar foi determinado por meio de um anemômetro colocado entre as resistências elétricas e a câmara de secagem.

Foram registrados os tempos de secagem e avaliado o aspecto do café para cada tratamento.

3.3 Análise estatística dos resultados

O delineamento experimental para ambos os experimentos de secagem foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial.

No primeiro experimento foi instalado um fatorial 2X4: duas temperaturas (45 e 70°C) e quatro alturas de camada de café (10, 20, 30 e 40 cm), fixando o fluxo do ar em 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, sem descanso, com revolvimento da massa de café a cada duas horas de secagem e com duas repetições.

No segundo experimento foi fixada a temperatura de 70°C, altura da camada de café de 40 cm, revolvimento da massa de café a cada duas horas de secagem, e foi instalado um fatorial 2X3: duas velocidades do ar (16 e 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), três tempos de descanso (0, 2 e 4 horas), duas repetições.

Foi feita uma análise de variância para observar a influência da temperatura, da altura da camada de grãos, do fluxo do ar e do período de descanso no tempo de secagem, aplicando-se o teste de Tukey ao nível de 5% nas comparações das médias (Gomes, 1987).

3.4 Classificação pelo aspecto

Foram utilizados os seguintes parâmetros para classificar o café quanto ao seu aspecto:

- bom: coloração verde-azulada, uniforme, sem manchas, maioria das grãos perfeitos;
- regular: condição intermediária;
- ruim: coloração desuniforme em cada grão e entre os grãos, presença de grãos esbranquiçados, superfície enrugada,

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito da temperatura de secagem e altura da camada de café no tempo total de secagem

Os testes de temperatura de secagem e altura da camada de café foram feitos sem período de descanso, com fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e revolvimento a cada duas horas de secagem.

Na Tabela 1A pode-se verificar o resumo da Análise de Variância dos dados referentes ao tempo total de secagem do café no secador, que mostra os efeitos significativos, ao nível de 5% de probabilidade, da temperatura de secagem e altura da camada de café, bem como a interação destes fatores.

O desdobramento do efeito da temperatura de secagem dentro de cada altura de camada de café sobre o tempo total de secagem é mostrado na Tabela 1.

Pode-se observar que, como era de se esperar, as diferenças de tempo de secagem entre as duas temperaturas foram bastante significativas dentro de todas as camadas, isto é, aumentando-se a temperatura de secagem, o tempo de secagem diminui em qualquer das alturas estudadas. O tempo de secagem da temperatura de 45°C foi sempre maior que o dobro do tempo de

secagem para a temperatura de 70°C. Esta diferença pode ser bem visualizada nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Castro (1991) trabalhando com um secadas de camada fixa, secou café despulpado utilizando as temperaturas de 60, 70 e 80°C com fluxo de ar de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, revolvimento da massa de grãos a intervalos de uma, duas e três horas e altura da camada de café de 50 cm. Ele verificou que não houve influência do intervalo de revolvimento da massa de grãos para o tempo de secagem, e que aumentando-se a temperatura de secagem, o tempo de secagem diminui, sendo que o tempo médio de secagem para a temperatura de 60°C foi de 16,11 horas, para 70°C foi de 13,78 horas e para 80°C foi de 11,15 horas.

TABELA 1 - Valores médios do tempo total de secagem do café despulpado (horas), com fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, em função da temperatura de secagem e da altura da camada (cm).

Altura da Camada (cm)	Temperatura de Secagem	
	45°C	70°C
10	10,75 A b	4,00 B a
20	9,75 A b	4,58 B a
30	14,29 A a	5,00 B a
40	13,75 A a	6,04 B a

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma linha, e por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O efeito da altura da camada de café no tempo total de secagem, para cada temperatura pode ser visto na Tabela 1 e

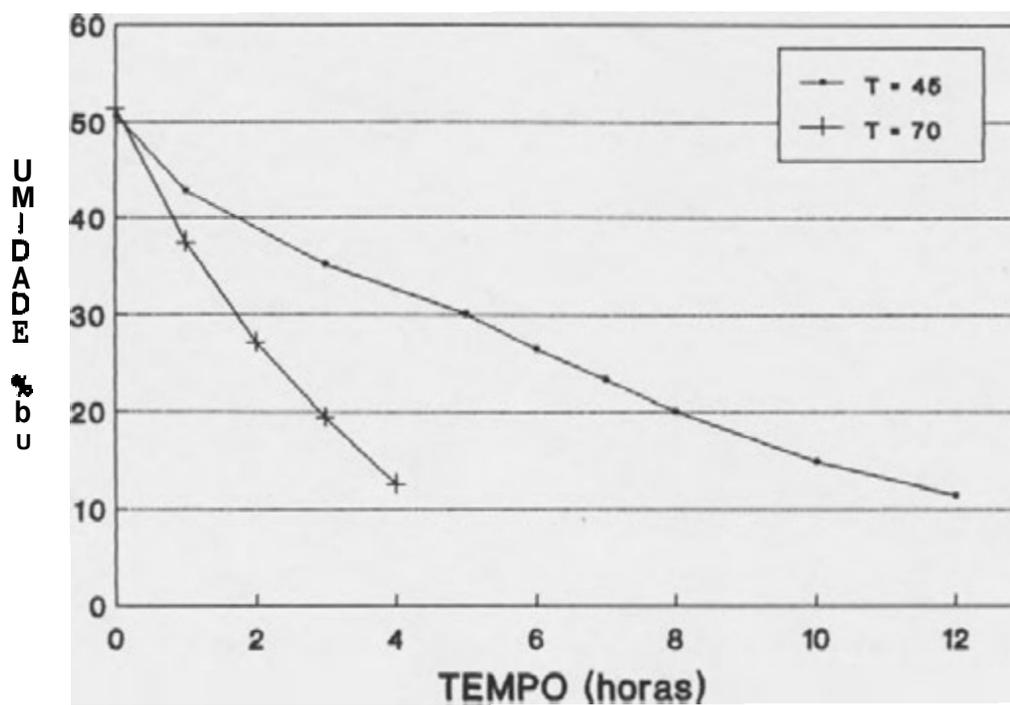


FIGURA 2 - Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 10 cm e temperaturas de secagem de 45 e 70°C .

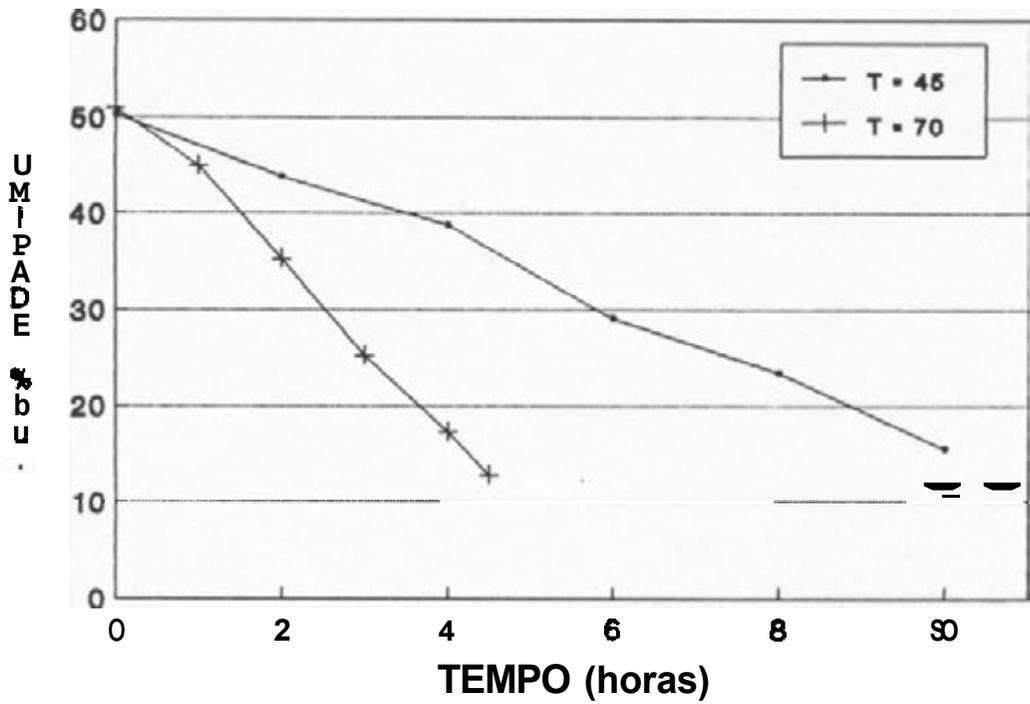


FIGURA 3 - Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 20 cm e temperaturas de secagem de 45 e 70°C .

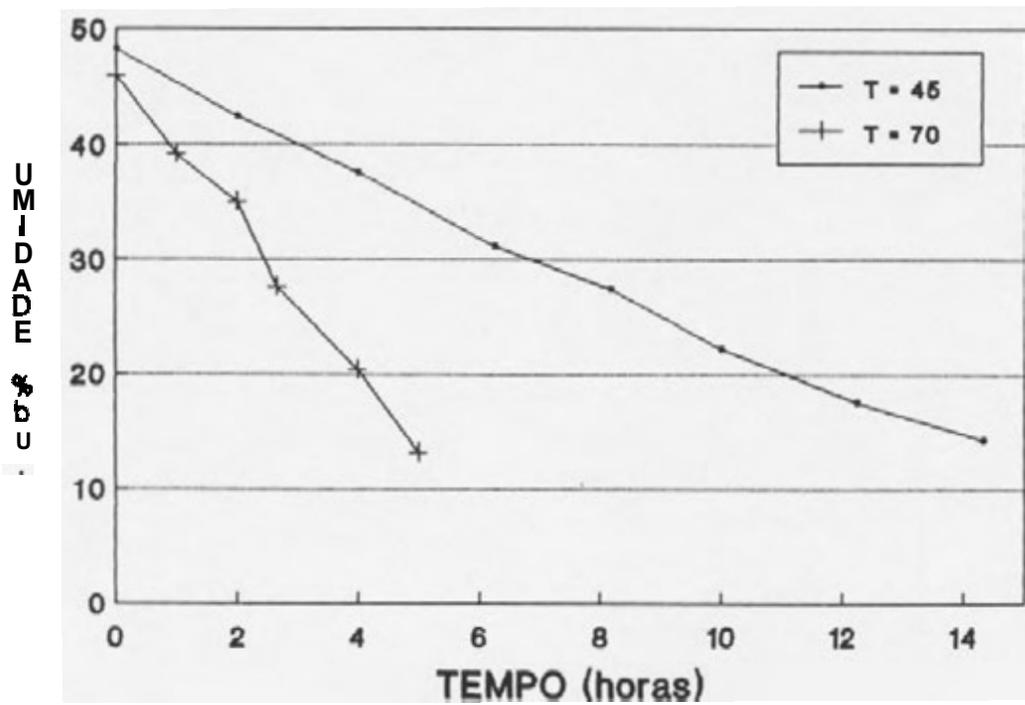


FIGURA 4 - Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 30 cm e temperaturas de secagem de 45 e 70°C.

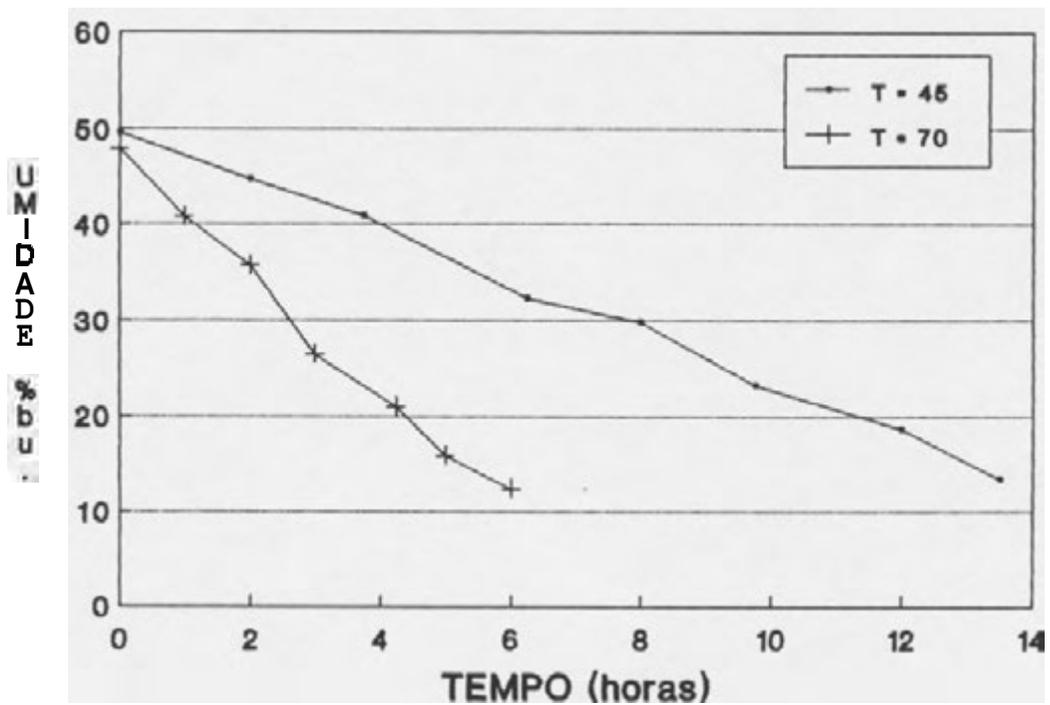


FIGURA 5 - Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, altura da camada de café de 40 cm e temperaturas de secagem de 45 e 70°C .

Figura 6. Pelos resultados pode-se constatar que para a temperatura de secagem de 70°C não houve diferença significativa no tempo de secagem entre as diferentes camadas de café.

Para a temperatura de 45°C, não houve diferença no tempo de secagem entre as camadas de 10 e 20 cm, e entre as camadas de 30 e 40 cm, sendo que as camadas de 30 e 40 cm tiveram um tempo de secagem maior que as camadas de 10 e 20 cm (Figura 7).

4.1.1 Aspecto do café

Os resultados da análise do aspecto do café são apresentados na Tabela 2 e mostram que houve diferença no *aspecto* para as temperaturas do ar de secagem; com aspecto ruim para a temperatura de 70°C e aspecto regular, desuniforme e não característico de uma boa coloração de café despulpado, para a temperatura de 45°C, independente da altura da camada.

TABELA 2 - Classificação por aspecto do café despulpado com fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e sem período de descanso, para as temperaturas de secagem de 45 e 70°C e alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm.

Altura da Camada (cm)	Temperatura de Secagem	
	45°C	70°C
10	Regular	Ruim
20	Regular	Ruim
30	Regular	Ruim
40	Regular	Ruim

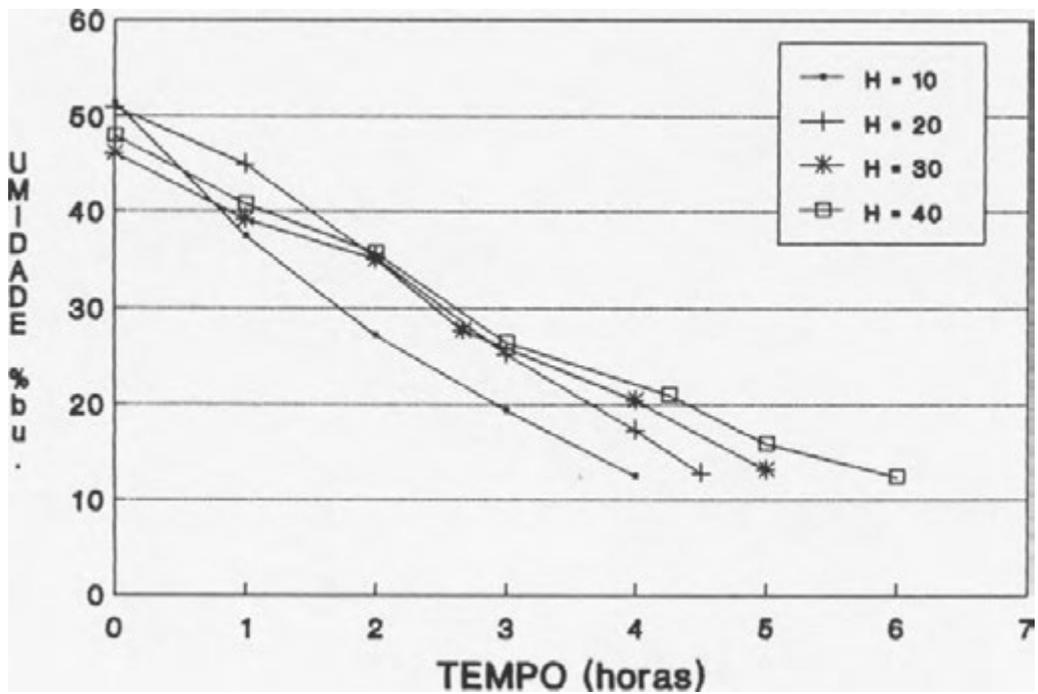


FIGURA 6 - Curvas de *secagem* do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, temperatura de secagem de 70°C alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm.

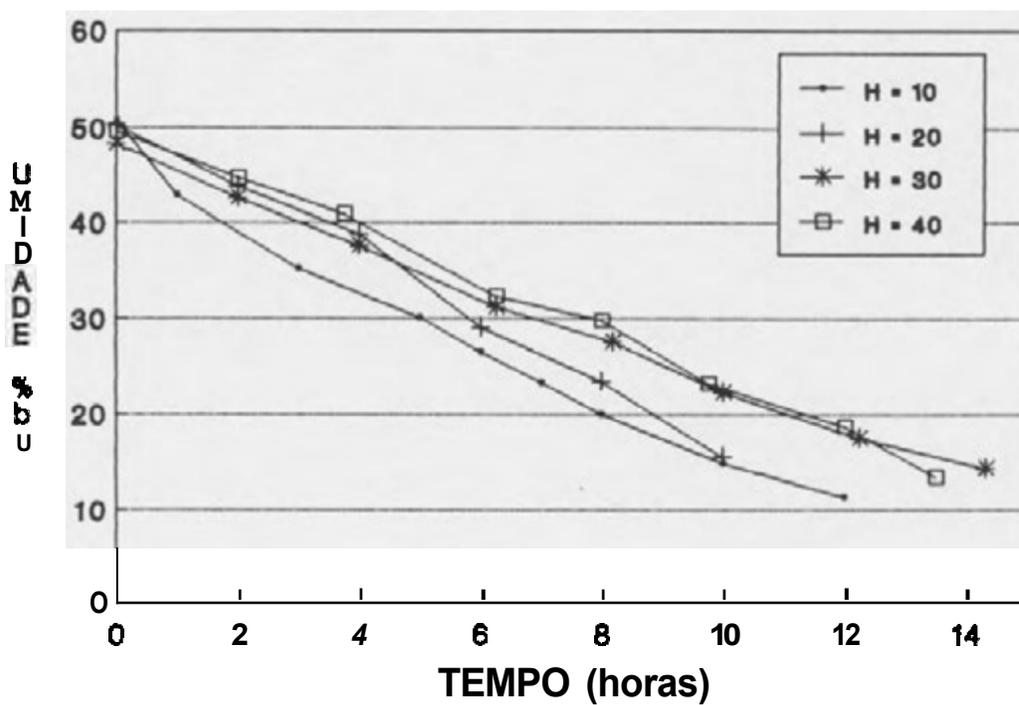


FIGURA 7 - Curvas de secagem do café, para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, temperatura de secagem de 45°C alturas da camada de café de 10, 20, 30 e 40 cm.

4.2 Efeito do fluxo de ar e período de descanso na secagem

O estudo do efeito do período de descanso e fluxo do ar de secagem no tempo de secagem do café foi feito com temperatura do ar de secagem de 70°C, altura da camada de café de 40 cm e revolvimento a cada duas horas de secagem.

A Tabela 2A mostra o resumo da Análise de Variância dos dados referentes ao tempo total de secagem dos grãos de café, com significância para fluxo de ar e período de descanso, bem como para a interação desses dois fatores, ao nível de 5% de probabilidade, enquanto que a Tabela 3A mostra o resumo da Análise de Variância dos dados referentes ao tempo de secagem no secador.

4.2.1 Efeito do fluxo do ar e período de descanso no tempo total de secagem

O desdobramento do efeito do fluxo do ar dentro de cada período de descanso para a variável tempo total de secagem é mostrado na Tabela 3.

Pelos resultados pode-se verificar que o fluxo do ar influenciou o tempo total de secagem da café em todos os períodos de descanso, sendo que o tempo de secagem para o menor fluxo do ar ($16 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) foi mais que o dobro do tempo total de secagem do fluxo maior ($63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). As Figuras 8, 9 e 10 demonstram bem esta diferença entre os dois fluxos de ar.

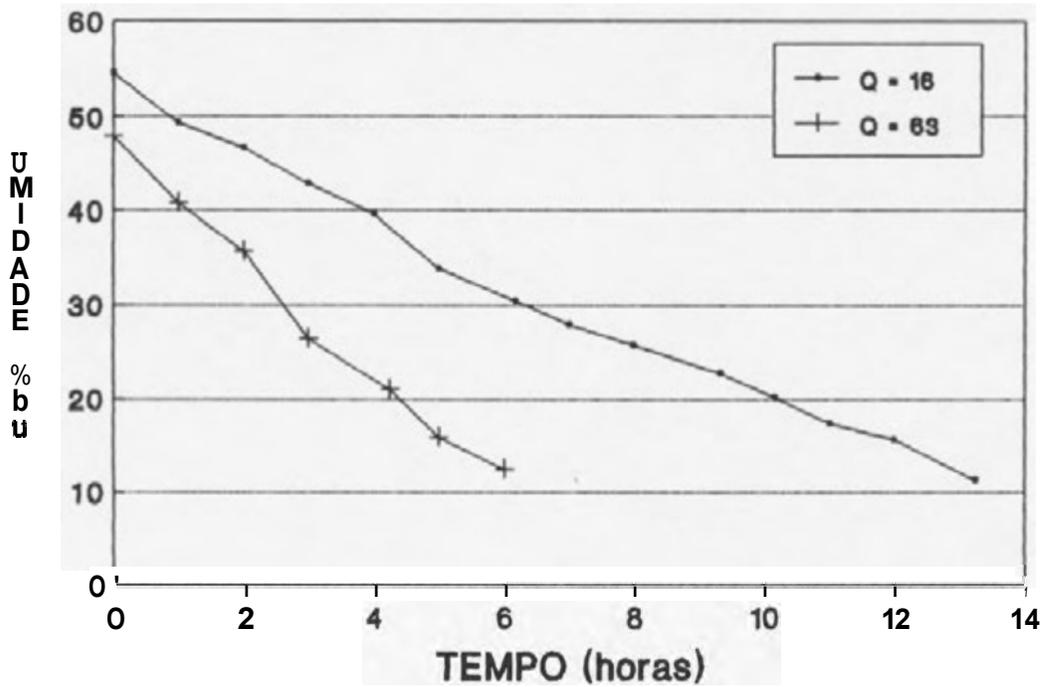


FIGURA 8 - Curvas de secagem do café, para temperatura de secagem de 70°C , sem descanso e fluxos do ar de 16 e 63 $\text{m}^3.\text{min}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

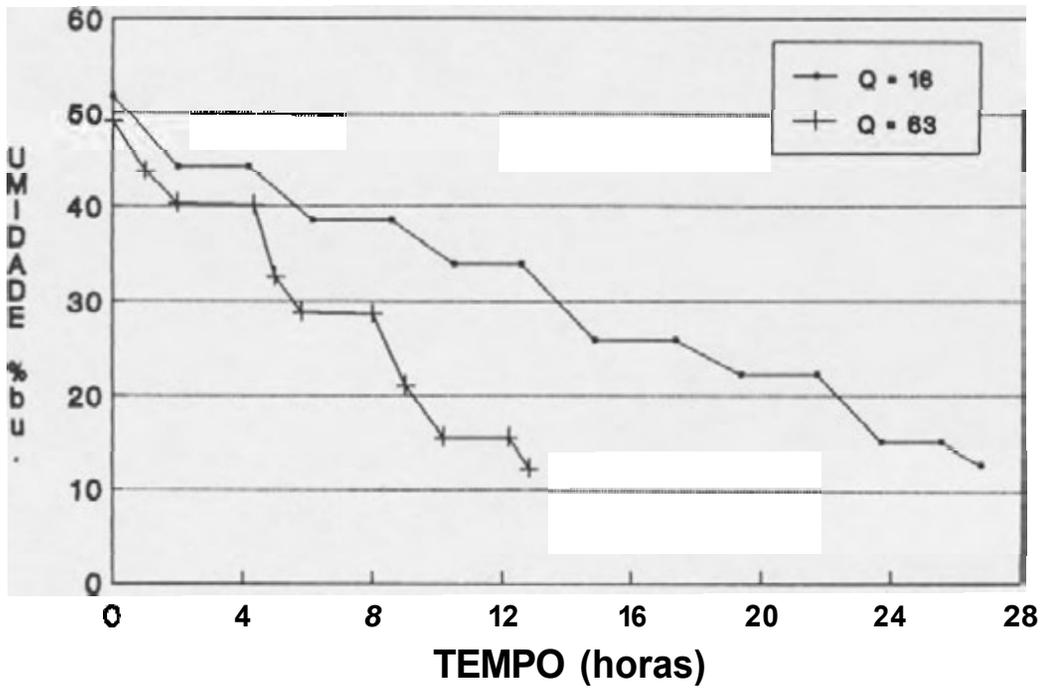


FIGURA 9 - Curvas de secagem do café, para temperatura de secagem de 70°C , descanso de 2 horas e fluxos do ar de 16 e $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

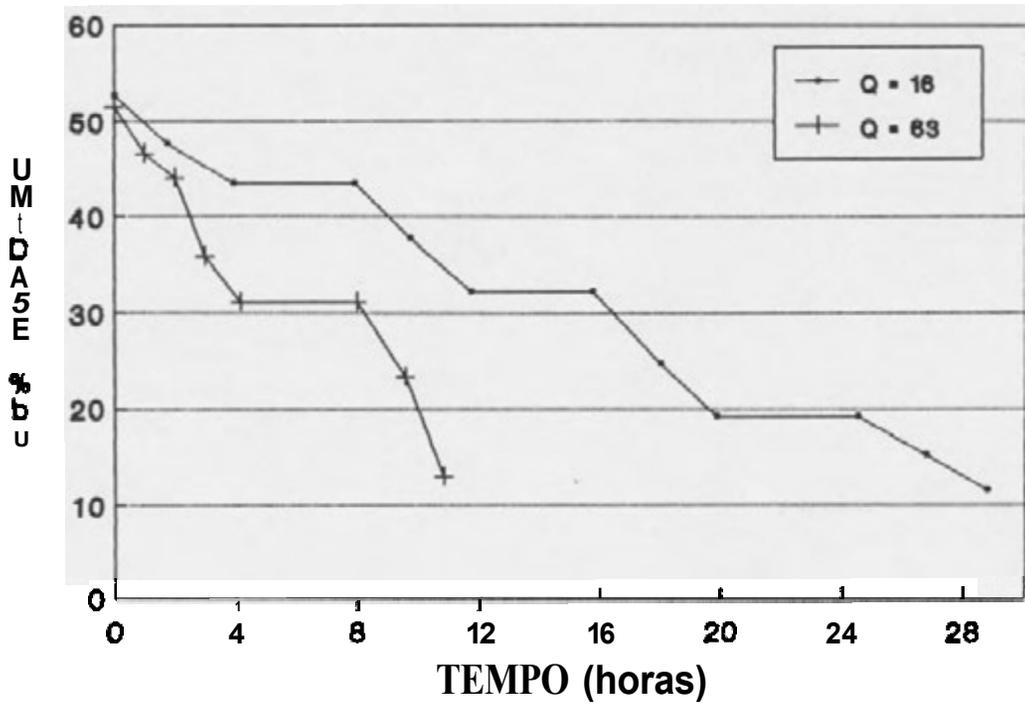


FIGURA 10 - Curvas de secagem do café, para temperatura de secagem de 70°C , descanso de 4 horas e fluxos do ar de 16 e $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

TABELA 3 - Valores médios do tempo total de secagem do café despulpado (horas), com temperatura de secagem de 70°C e altura da camada de café de 40 cm, em função do fluxo do ar de secagem e período de descanso.

Período de Descanso (horas)	Fluxo do Ar ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	
	16	63
0	13,21 A c	6,04 B c
2	27,12 A b	12,67 B a
4	28,54 A a	11,13 B b

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma linha, e por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Vieira (1994) trabalhando em um secador experimental de camada fixa para secagem do café em coco (sem despulpar), utilizou três fluxos do ar (16, 33 e 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$), dois períodos de repouso (60 e 120 minutos) e dois períodos de secagem (30 e 60 minutos) e verificou um efeito maior do fluxo do ar em diminuir o tempo total de secagem quando utilizou o período de repouso de 60 minutos e período de secagem de 30 minutos (tempo total de secagem de 18, 12 e 9 horas para os fluxos de ar de 16, 33 e 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ respectivamente), e que para o período de secagem de 60 minutos e tempo de repouso de 120 minutos não houve diferença significativa no tempo total de secagem (14 horas para 16 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e 15 horas para 33 e 63 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

Analisando a Tabela 3 e Figuras 11 e 12, pode-se verificar que houve diferença significativa no tempo total de secagem em todos os períodos de descanso para ambos fluxos de ar,

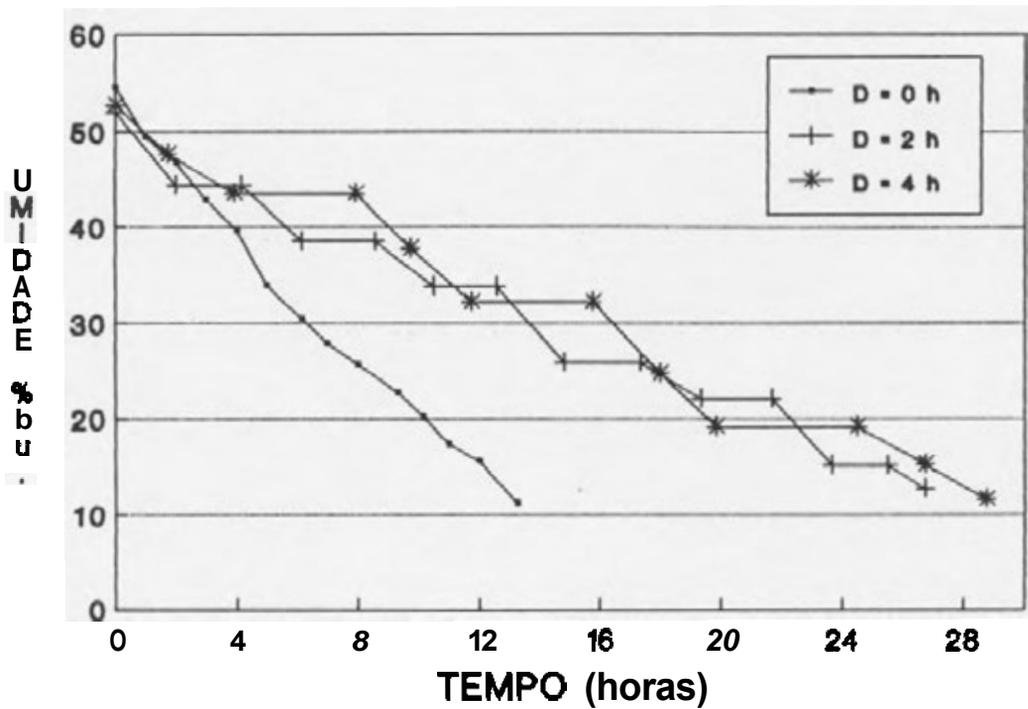


FIGURA 11 - Curvas de secagem do café, para temperatura de secagem de 70°C , fluxo do ar de $16 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e descanso de 0 horas (sem descanso), 2 horas e 4 horas

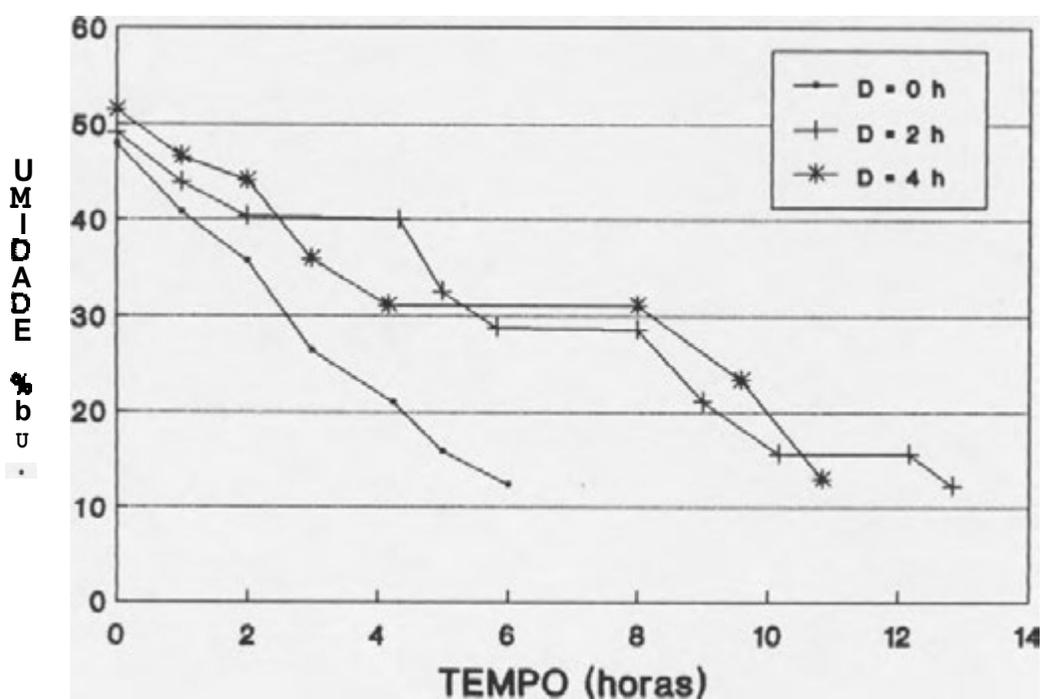


FIGURA 12 - Curvas de secagem do café, para temperatura de secagem de 70°C , fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e descanso de 0 horas (sem descanso), 2 horas e 4 horas

apesar das diferenças serem bem menores entre as secagens com descanso, e estas bem superiores à secagem sem descanso.

4.2.2 Efeito do fluxo do ar e período de descanso no tempo de secagem no secador

Tempo de secagem no secador refere-se ao tempo que o café permanece no secador, ou seja, o tempo total menos o período de descanso.

Na Tabela 4 tem-se as médias do tempo de secagem no secador para os fatores fluxo do ar e período de descanso. Pode-se observar que, como ocorreu com o tempo total de secagem, aumentando-se o fluxo de ar o tempo de secagem no secador diminuiu significativamente para todos os períodos de descanso, ou seja, o tempo de secagem foi inversamente proporcional ao fluxo de ar de

TABELA 4 - Valores médios do tempo de secagem no secador (horas), do café despulpado, com temperatura de secagem de 70°C e altura da camada de café de 40 cm, em função do fluxo do ar de secagem e período de descanso.

Período de Descanso (horas)	Fluxo do Ar ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)	
	16	63
0	13,21 A b	6,04 B a
2	13,67 A b	6,50 B a
4	15,71 A a	7,25 B a

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma linha, e por letras minúsculas distintas na mesma coluna, diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

secagem. Vieira (1994) observou também em seu experimento um efeito do aumento do fluxo de ar na diminuição do tempo de secagem no secador.

Observa-se que para o fluxo de ar de $16 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, o tempo de secagem no secador para o período de descanso de 4 horas foi superior aos outros períodos de descanso, e que não houve diferença no tempo de secagem no secador entre o período de descanso de 2 horas e sem período de descanso. Para o fluxo do ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ não houve diferença significativa para o tempo de secagem no secador entre os períodos de descanso. O período de descanso não reduziu o tempo de utilização do secador, o que foi observado também por Vieira (1994) trabalhando com café em coco. Estes resultados diferem dos encontrados por Rigitano et al. (1964), os quais mostram que o parcelamento diminui o tempo de secagem no secador. Este autor, entretanto, não especifica o tipo de secador, fluxo de ar, altura da camada, ficando difícil fazer uma comparação.

4.2.3 Aspecto do café

Pela Tabela 5 pode-se observar que o aspecto do café despolpado para o fluxo de ar $16 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ foi regular em todos os períodos de descanso, enquanto que para o fluxo de ar de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ o aspecto foi ruim, independente do período de descanso. Isto evidencia que o fluxo do ar influenciou no aspecto do café, e que quanto menor o fluxo do ar, ou seja, quanto maior o tempo de secagem do café, melhor o seu aspecto.

TABELA 5 - Classificação por aspecto do café despchado com altura da carnada de café de 40 cm e temperatura do ar de secagem de 70°C, para os periodos de descanso de 0, 2 e 4 horas,, e fluxos do ar de secagem de 16 e 63 $m^3 \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$.

Periodo de Descanso (horas)	Fluxo do Ar ($m^3 \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$)	
	16	63
0	Regular	Ruim
2	Regular	Ruim
4	Regular	Ruim

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- O tempo de secagem diminuiu consideravelmente com o aumento da temperatura, independente da altura da camada de café. O tempo de secagem da temperatura de 45°C foi sempre maior que o dobro do tempo de secagem para a temperatura de 70°C , porém o aspecto do café foi ruim na maior temperatura em todas as alturas de camada.
- O fluxo de ar influenciou o tempo total de secagem e o tempo de secagem no secador, sendo que este tempo no menor fluxo de ar foi sempre maior que o dobro para o fluxo de ar maior, em todos os períodos de descanso. Da mesma forma que a temperatura, o maior fluxo de ar reduziu o tempo de secagem, prejudicando porém o aspecto de café, que foi ruim.
- O período de descanso não reduziu o tempo de utilização do secador, já que não houve diferença significativa para o tempo de secagem no secador entre os períodos de descanso.

- Em todos os testes realizados não se obteve cafés beneficiados bons, com boas características de despolpado, o que vem confirmar, conforme foi relatado na revisão, por vários autores, que a secagem do café tem que ser lenta e cuidadosa para não prejudicar o aspecto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists. 11.ed.** Washington, 1970. 101p.
- BARTHOLO, 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, v.14, n.162, p.33-44, 1989.
- BEGAZO, J.C.E.O. Ensaio sobre degomagem e armazenamento do café despulpado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.17, n.92, p.139-157, 1970.
- BEGAZO, J.C.E.O.; PAULA, J.F. Considerações sobre o preparo do café visando à melhoria da qualidade. **Informe Agropecuario**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.76-78, 1985.
- BOYCE, D.S.; PHILLIPS, A.L. Processing Arabica Coffee by the wet method. **Agricultural Engineering**, Michigan, v.50, n.7, p.408-410, 1969.
- BROOK, R. C.; BAKKER-ARKEMA, F.W. Simulation for design of commercial concurrent flow grain dryers. **Transactios of the ASAE**, St. Joseph, p.978-981, 1978.
- CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuario**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.13-26, 1985.
- CARVALHO, A. A secagem do café em terreiro. **Boletim da Superintendência dos Serviços do café**, São Paulo, v.31, n.353, p.34-35, 1956.
- CASTRO, L.H. Efeito do despulpamento, em secador de leito fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). Viçosa: UFV, 1991. 61p. (Tese - Mestrado em Engenharia Agrícola).
- CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.D. Cuidados na colheita e no preparo do café. Lavras: EPAMIG, 1992. 4p. (Circular Técnico, 20).
- CLARKE, R.J.; MACRAE, R. **Coffee: technology**. Elsevier, New York, 1987. v.2, 321p.

- CORDEIRO, J.A.B.; SILVA, J.S.; DALPASQUALE, V.A.; COELHO, D.T. Influência da temperatura e tempo de repouso na secagem do café (*Coffea arabica* L.) em camada fixa. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.8, n.1-2, p.18-21, 1983.
- CORRÊA, P.C. Simulação de secagem de café em camada espessa. Viçosa: UFV, 1982. 47p. (Tese - Mestrado em Engenharia Agrícola).
- DORFMAN, E. Pré-secagem de café em barçaça com utilização de energia solar, Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, UNICAMP, 1980. 95p. (Tese - Mestrado em Tecnologia de Alimentos)'.
DORFMAN, E.; WIRTH, H.G.; MEJIA, G.R. Pré-secagem de café em barçaça com utilização de energia solar. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.6, n.1, p.25-35, 1981,
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 12.ed. São Paulo: ESALQ, 1987. 467p.
- GHOSH, B.N. Wet processing Robusta Coffee. **World Crops**, p.132-136, May/June 1969,
- HASHIME, H.; MATIELLO, J.B. Influência do estágio de maturação do café na qualidade do café despulpado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15, Campinas, 1989. Resumos... Rio de Janeiro: IBC, 1989. p.95-96.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFE. Processamento, classificação e armazenamento do café. In: _____. **Cultura do café no Brasil: Manual de recomendações**. 5.ed. Rio de Janeiro, 1985. Cap.12. p. 423-466.
- ITURRA, A.R.; VILLA, L.G. Desenvolvimento de um modelo matemático de deterioração de café baseado no crescimento de fungos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.8, n.1-2, p.38-44, 1983.
- LACERDA, L.A.O.; MIARELI, M.; DAVOLI, J.Z. et al. Influência dos sistemas de colheita e preparo na qualidade do café nas diferentes regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13, São Lourenço, 1986. Resumos... Rio de Janeiro: IBC, 1986. p.118-123.
- LACERDA FILHO, A.F. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). Viçosa: UFV, 1986. 136p. (Tese - Mestrado em Engenharia Agrícola).
- MATIELLO, J.B.; AVILES, D.P.; PINHEIRO, M.R. Processo de retirada de mucilagem dos frutos do café sem o despulpamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13, São Lourenço, 1986. Resumos... Rio de Janeiro: IBC, 1986. p.75-76.

- MATIELLO, J.B.; STEVANATO, S.G.; ZATTAR, J.C.; TOLEDO, J.L.B.
Caracterização de cafés preparados por despulpamento na Zona da Mata de Minas Gerais, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15, Campinas, 1989. Resumos,,, Rio de Janeiro: IBC, 1989. p.164-165.
- MONACO, I.C. Fermentação do café despulpado. Boletim da Superintendência dos Serviços do Café, São Paulo, v.24, n.388, p.21-22, 1959.
- OLIVEROS-TASCON, C.E.O.; PINHEIRO FILHO, J.B. Simulation de secado de café em capa fija con inversion del sentido de flujo del aire. Cenicafé, Colômbia, v.36, n.1, p.3-21, 1985.
- OSORIO, A.G.S. Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café. Viçosa: UFV, 1982. 57p. (Tese - Mestrado em Engenharia Agrícola).
- PUZZI, D. Padronização de cereais, grãos, leguminosas e café. In: Abastecimento e armazenamento de grãos. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. p.581-589.
- RIGITANO, A.; TOSELHO, A.; FERREIRA, O.S.; GARRUTI, R.S.; JORGE, J.P.N. Influência do parcelamento na secagem do café. *Bragantia*, Campinas, v.34, n.24, p.299-322, 1964.
- RUIZ AGUAS, L.H. Sistema de beneficiamento do café na Colômbia. Lavras: ESAL, 1988. 25p. (Apostila).
- SILVA, L.C. da Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arabica* L.) intermitente de fluxos contracorrentes. Viçosa: UFV, 1991. 74p. (Tese - Mestrado em Engenharia Agrícola).
- VIEIRA, G. Secagem intermitente de café (*Coffea arabica* L.) em secadores de fluxo cruzado e em secador experimental de camada fixa. Lavras: ESAL, 1994. 91p. (Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos).
- VILELA, E.R. Processamento de café. Lavras: ESAL, 1991. 29p. (Apostila de Tecnologia de Produtos Vegetais).
- VILELA, E.R. Secagem de café em terreiro e em silo com energia solar. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, UNICAMP, 1977. 107p. (Tese - Mestrado em Tecnologia de Alimentos).

ANEXOS

TABELA 1A. Resumo da Análise de Variância dos dados referente ao tempo total de secagem dos grãos de café com relação a temperatura de secagem e altura da camada de café.

Causa da Variação	G.L.	Q.M.	Significância
Camada	3	8,3954	0,00081
Temperatura	1	209,0193	0,00001
Camada * Temperatura	3	2,9895	0,01270
Residuo	8	0,4245	

Coeficiente de Variação = 7,646%

TABELA 2A. Resumo da Análise de Variância dos dados referente ao tempo total de secagem dos grãos de café com relação ao fluxo *do ar e* período de descanso,

Causa da variação	G.L.	Q.M.	Significância
Descanso	2	139,7799	0,00002
Fluxo	1	508,1707	0,00001
Descanse * Fluxo	2	27,8060	0,008006
Resíduo	6	0,1007	

Coeficiente de Variação = 1,9298

TABELA 3A. Resumo da Análise de Variância dos dados referente ao tempo de secagem dos grãos de café no secador com relação ao fluxo do ar e período de descanso.

4/11/19

Causa da Variação	G.L.	Q.M.	Significância
Descanso	2	3,7324	0,00067
Fluxo	1	173,1280	0,000112
Descanso * Fluxo	2	0,5461	0,03434
Residuo	6	10,0874	

Coeficiente de Variação = 2,845%