

ADRIANA MARIA DE GRANDI

**AVALIAÇÃO DE DUAS CENTRÍFUGAS PARA REMOÇÃO DA ÁGUA  
SUPERFICIAL DO CAFÉ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

D321a De Grandi, Adriana Maria, 1974-  
2003 Avaliação de duas centrífugas para remoção da água  
superficial do café / Adriana Maria De Grandi. – Viçosa :  
UFV, 2003.

65p. : il.

Orientador: Evandro de Castro Melo

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Café - Lavagem. 2. Café - Centrifugação. 3. Café -  
Secagem. 4. Centrífugas - Avaliação. I. Universidade  
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 633.736

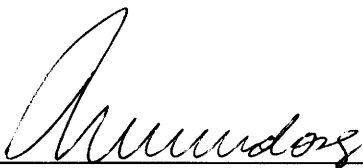
CDD 20.ed. 633.736

ADRIANA MARIA DE GRANDI

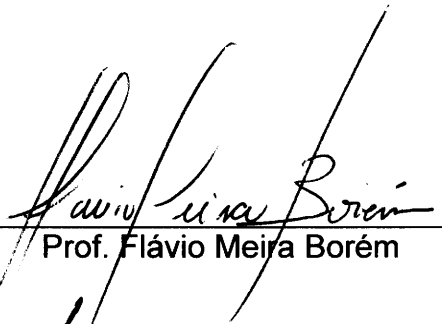
**AVALIAÇÃO DE DUAS CENTRÍFUGAS PARA REMOÇÃO DA ÁGUA  
SUPERFICIAL DO CAFÉ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de "Doctor Scientiae".

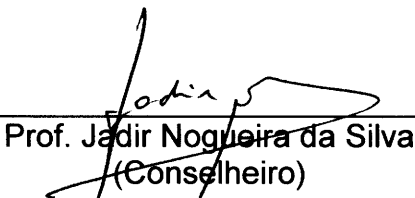
APROVADA: 24 de março de 2003.



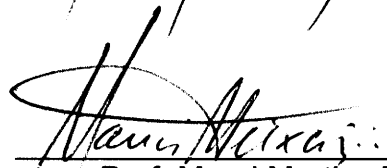
Dr. José Cardoso Sobrinho



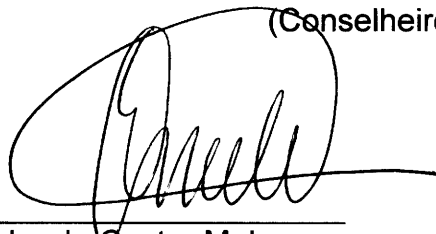
Prof. Flávio Meira Borém



Prof. Jadir Nogueira da Silva  
(Conselheiro)



Prof. Mauri Martins Teixeira  
(Conselheiro)



Prof. Evandro de Castro Melo  
(Orientador)

Às pessoas que mais amo:

Herbert Cardoso

Meu pai Altamir (minha eterna saudade)

Minha mãe Bernadete

Meus irmãos

Altamir, Andréia, Ana, Lindomar e Diego

Meus sobrinhos

Davi e Samuel

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, sabedoria infinita e fonte de inspiração.

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

Ao professor Mauri Martins Teixeira, pela confiança, dedicação e contribuições para realização deste trabalho.

Aos professores Jadir Nogueira da Silva e Juarez de Souza e Silva, 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 doutorado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas do curso de Engenharia Agrícola e aos funcionários Marcelo, Antônio (Inhame), José Raimundo (Zé Baixinho), Silas e José Galinari, pelo auxílio na condução do experimento.

Aos empresários Leopoldo Bessone e José Santana, por ceder vossas propriedades para condução do experimento.

Aos colegas Ana Elisa, Eliane Leandro, Ester Rodrigues, Andressa, Leidy Zullys, Alisson, Juan Jose, Ana Paula, Fabrício Barbosa, Adriana Álvares e Nadília Gomide, pela convivência amigável.

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), concluindo em fevereiro de 1999.

Em março de 1999, ingressou no curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo em março de 2003.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. O café .....	4
2.1.1. Generalidades .....	4
2.1.2. Qualidade, colheita e formas de processamento.....	5
2.2. A água contida nos grãos.....	8
2.3. Secagem de café.....	9
2.4. Retirada da água superficial.....	11
2.5. Separação centrífuga.....	12
2.5.1. Tipos de operação de centrifugação.....	16
2.5.2. Tipos de centrífugas.....	16
2.6. Análise de custos.....	18

	Página
2.6.1. Custos fixos.....	18
2.6.1.1. Aquisição e instalação.....	19
2.6.1.2. Depreciação.....	19
2.6.2. Custos variáveis.....	20
2.7. Vida útil das máquinas.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	22
3.1. As centrífugas utilizadas.....	24
3.1.1. Centrífuga I.....	24
3.1.2. Centrífuga II.....	26
3.2. Os testes experimentais .....	29
3.2.1. Testes com a centrífuga I.....	29
3.2.1.1. Massa específica.....	29
3.2.1.2. Teor de umidade.....	29
3.2.1.3. Porcentagem de grãos danificados (PGD).....	30
3.2.1.4. Capacidade de centrifugação.....	30
3.2.2. Testes com a centrífuga II.....	31
3.3. Análise dos resultados .....	33
3.3.1. Centrífuga I .....	33
3.3.2. Centrífuga II .....	33
3.3. Análise de custo.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1. Centrífuga I.....	36
4.2. Centrífuga II.....	45
4.3. Análise de custo.....	53

	Página
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
APÊNDICES.....	62

## RESUMO

DE GRANDI, Adriana Maria, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2003. **Avaliação de duas centrífugas para remoção da água superficial do café**. Orientador: Evandro de Castro Melo. Conselheiros: Jadir Nogueira da Silva e Mauri Martins Teixeira.

Com o objetivo de avaliar o processo de centrifugação na retirada da água superficial do café e estabelecer as melhores rotações para centrifugação foram testadas duas diferentes centrífugas, desenvolvidas no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Para a avaliação conduziram-se testes de centrifugação com a centrífuga I, utilizando café cereja desmucilado e seis diferentes rotações (300, 400, 500, 600, 700 e 800 rpm). Os parâmetros observados foram teor de umidade, massa específica, porcentagem de grãos danificados (PGD) e capacidade da centrífuga. Para os testes com a centrífuga II, utilizou-se café cereja desmucilado, café bóia e café seco posteriormente molhado durante 1, 2 e 3 horas com rotações de 300, 400 e 500 rpm e tempos de centrifugação de 30, 45 e 60 segundos. Com base nos resultados obtidos nos testes, pode-se concluir que: o processo de centrifugação contribui para a remoção da água superficial do café; as melhores rotações considerando a maior perda de água do produto, a menor PGD e a maior capacidade da centrífuga foram as de 500 e 600 rpm (centrífuga I) e; para a centrífuga II a melhor rotação para remoção da água superficial do café foi a de 500 rpm.

## ABSTRACT

DE GRANDI, Adriana Maria, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2003. **Evaluating two centrifuges for removal of the superficial water in coffee.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Committee members: Jadir Nogueira da Silva and Mauri Martins Teixeira.

Aiming at the evaluation of the centrifugation process in removing the superficial water from coffee, as well as to establish the best rotation for this process, two different centrifuges, which were developed at the UFV Agricultural Engineering Department, were tested. For this evaluation, some centrifugation tests were conducted with the centrifuge I, using pulped coffee cherries and six different rotations (300, 400, 500, 600, 700 and 800 rpm). The following parameters were observed: moisture content, specific mass, damaged beans percentage (PGD) and the centrifuge capacity. To carry out the tests with centrifuge II, the pulped coffee cherries, "bóia" coffee, and the dry coffee that was latter soaked into water for 1, 2 and 3 hours at the rotations of 300, 400 and 500 rpm and centrifugation times of 30, 45 and 60 seconds were used. According to the results, the following conclusions were drawn: the centrifugation process contributes to the removal of the superficial water in the coffee berries; the best rotations concerning to the highest water loss of the product, the lowest percentage of the damaged coffee beans; and the highest centrifuge capacity were 500 and 600 rpm for centrifuge I, whereas for

centrifuge II the best rotation for removal of the superficial water in the coffee beans was 500 rpm.

## 1. INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos do agronegócio mundial. No Brasil o café é o principal produto agrícola para exportação. A produção brasileira de café estimada para a safra de 02/03 é de cerca de 28,7 milhões de sacas, sendo 20 milhões de café arábica e 8,7 milhões de café robusta. Deve-se ressaltar a importância de Minas Gerais que é o maior estado produtor, com uma estimativa para a safra 03/04 de cerca de 12,5 milhões de sacas e contribuindo com cerca de 50% da produção nacional (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ, 2000/2001; MA/EMBRAPA, 2002).

Apesar da significativa expressão do mercado cafeeiro brasileiro, atualmente a cultura do café estendeu-se por muitas outras regiões do mundo, tendo sido modificado o panorama da economia cafeeira. As produções mundiais cresceram rapidamente, levando a uma concorrência em preço, dado o aumento de produção dos outros países e, ainda, o fator qualidade, fizeram com que nossa exportação sofresse uma queda (PIMENTA e CHALFOUN, 2001).

Considerando o exposto, faz-se necessário cada vez mais buscar alternativas que reduzam os custos de produção e que permitam obter um produto final de melhor qualidade. Para tanto, os recursos e fatores produtivos existentes devem ser utilizados da forma mais eficiente possível, utilizando-se técnicas desenvolvidas com base em resultados de trabalhos de pesquisa (MORICOCCHI et al, 2001).

Os cafés de melhor qualidade têm alcançado, em média, maiores preços de mercado além de serem de mais fácil colocação tanto no mercado interno como no externo. Porém, em certas regiões, a produção de cafés de qualidade exige investimentos e gastos adicionais que precisam ser racionalizados, buscando associar a qualidade adequada ao menor custo (MATIELLO, 2001; IBC, 1985).

Os principais fatores que afetam a qualidade dos cafés são o clima, o manejo, os cuidados na colheita e o processamento pós-colheita (separação, lavagem, secagem e beneficiamento) (MATIELLO, 2001). Para a 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 individuais. A execução racional destas operações permite a obtenção de um produto que reúne as características de tipo e qualidade exigidas pelo mercado consumidor (IBC, 1985).

De acordo com BROOKER et al. (1992), a secagem é uma operação crítica na seqüência colheita - secagem - armazenamento - processamento - transporte. Geralmente atribui-se impropriamente à secagem a maior causa de deterioração de grãos nessa cadeia 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.). Se o produto for mantido nessas condições, ocorre o desenvolvimento de fungos na superfície dos frutos, o aumento da taxa de respiração e a elevação da temperatura da massa, com posterior fermentação. O resultado desse processo é 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).

O café depois de sair do lavador é levado para o terreiro contendo muita água superficial, o que causa o molhamento do mesmo podendo favorecer o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, que depreciam sua qualidade (CAMPOS, 1998; CORDEIRO, 1982; CORRÊA, 1982). A flora microbiana do café é bastante vasta e sua atuação está diretamente relacionada a alguns sabores e aromas que alteram as características peculiares do produto. Bitancourt (1957), verificou que 55% dos frutos de café seco em terreiro apresentaram leveduras.

A colheita do café no Brasil ocorre geralmente entre os meses de abril e julho, a região da zona da mata mineira, por exemplo, não apresenta durante este período um clima propício para secagem de café em terreiro apresentando baixas temperaturas e conseqüentemente aumentando o tempo de secagem, com isso qualquer técnica que venha a beneficiar de alguma forma o processo de secagem é muito bem recebido pelos cafeicultores que desta forma podem otimizar o processamento (BRASIL, 1992).

Um processo que pode se tornar viável na fase de retirada da água superficial do fruto de café é o de centrifugação do produto. Um equipamento devidamente projetado pode vir a ser uma importante ferramenta, na otimização do processamento pós-colheita do café. A utilização da centrifugação permite a remoção da água superficial (incluindo aí a água de lavagem do produto), podendo acelerar o processo de secagem e evitar que o terreiro fique, num primeiro momento, encharcado (como acontece quando o café sai do lavador e vai direto para o terreiro).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo testar duas diferentes centrífugas, utilizando diferentes velocidades de centrifugação (rotação) e identificando entre as velocidades testadas qual é a mais eficiente na retirada da água superficial do café.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O café

#### 2.1.1. Generalidades

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 (ARAÚJO, 1996). As primeiras culturas familiares de café foram estabelecidas na própria Etiópia ou no Yemen, na região situada ao sul da Península Arábica. A partir da Arábia, o consumo do café difundiu-se pelo Oriente, chegando até a Turquia. Da Turquia ganhou a Europa de onde expandiu-se para praticamente todo o Mundo.

No Brasil, o café foi introduzido por volta de 1730 primeiramente em Belém do Pará. Em seguida, foi plantado no Maranhão e daí se irradiou aos estados vizinhos. A introdução no Rio de Janeiro foi feita em 1779, e daí propagando-se para São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo.

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).

O negócio café é um dos maiores do mundo na área do agronegócio. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial deste produto, destinando cerca de 75% de seu café à exportação e sendo responsável por cerca de 20% do mercado mundial. 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. Vale ressaltar que o Estado de Minas Gerais é o líder na produção cafeeira do Brasil, com cerca de 50% da safra (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FAEMG, 1996, CARVALHO et al., 1997; SILVA et al., 1997; TÔRRES, 1997).

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

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

O café é um produto cujo preço está vinculado a parâmetros qualitativos. Partindo do valor obtido por um produto de máxima qualidade, este sofre descontos proporcionais à perda das características desejáveis de tipo e bebida (BÁRTHOLO et al., 1989).

A qualidade do café depende principalmente da forma como ele é cultivado, colhido e processado. A obtenção de um produto de boa qualidade depende de fatores inerentes à planta, como a genética das variedades, e de fatores referentes ao ambiente externo da planta, como fertilidade do solo, condições climáticas, pragas e doenças. As operações de colheita, preparo, armazenamento e beneficiamento devem ser realizadas de forma a manter a qualidade obtida no campo.

Com um produto de boa qualidade, o cafeicultor tem as seguintes vantagens (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 colheita, uma das responsáveis pela boa qualidade do café pode ocorrer em períodos que variam de região para região, em função da altitude, latitude e condições climáticas locais (CAMPOS, 1998). 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).

Realizada a colheita, o café passa a ser processado, o que pode ser realizado de duas formas, por via seca e por via úmida (Figura 1). 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. O preparo por via úmida é a forma indicada para regiões que apresentam problemas quanto à qualidade, como é o caso da Zona da Mata mineira (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

O processamento por via úmida consiste na retirada da casca do fruto maduro ou cereja após a lavagem, caracterizando-se em “café descascado”, este pode passar por um desmucilador (café desmucilado) ou ir para um tanque para fermentação da mucilagem (café despulpado). A mucilagem, apesar de muitas vezes ser desejável, pois confere mais corpo ao café, caracteriza-se em um substrato adequado para o desenvolvimento de microorganismos, que podem provocar a ocorrência de fermentações prejudiciais à qualidade final do produto, por isso o processamento via úmida, quando bem conduzido, pode contribuir para que o café apresente bebida suave, mole ou estritamente mole, seja qual for a região produtora, alcançando boas cotações no mercado (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

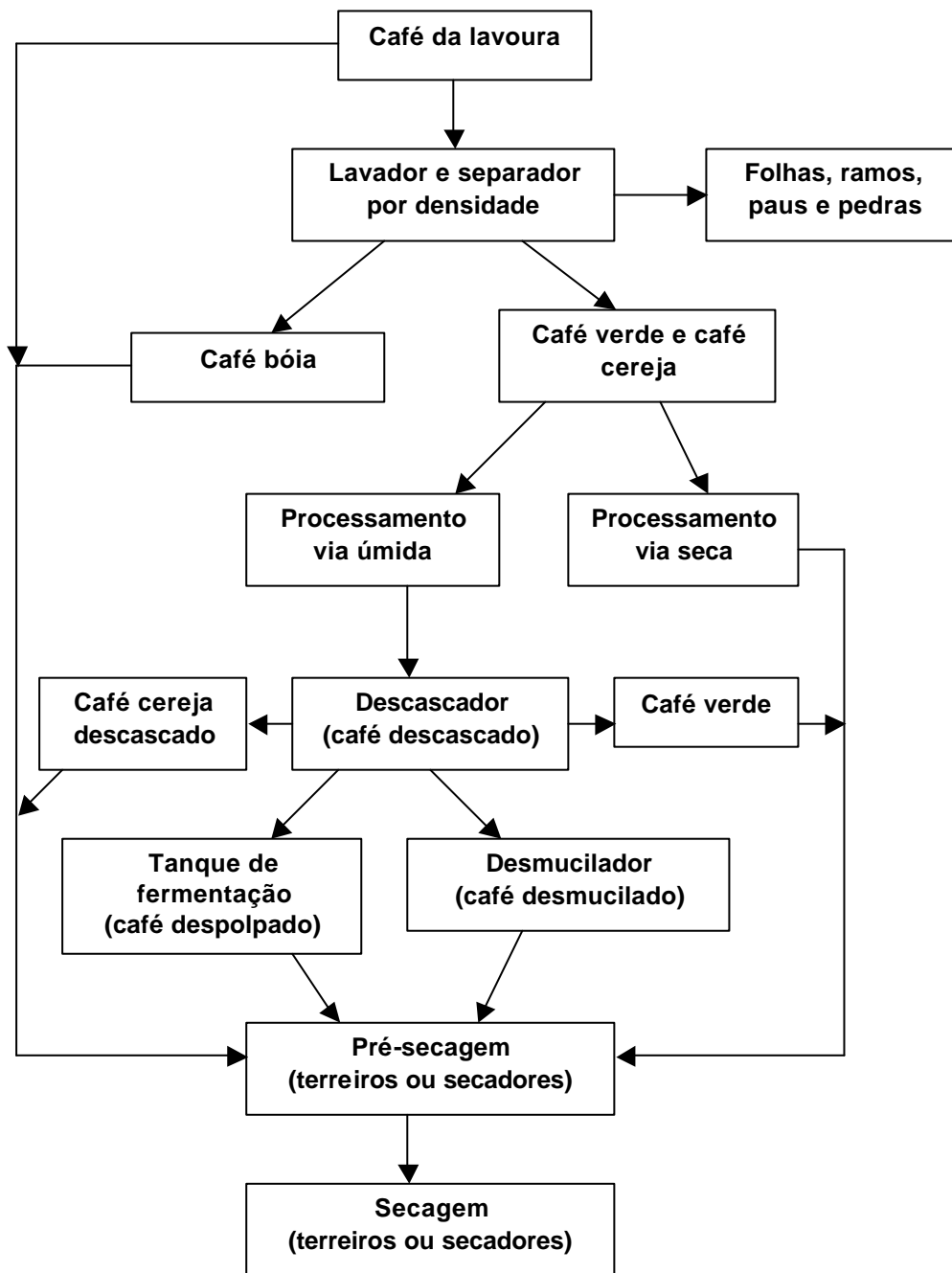


Figura 1 - Fluxograma das alternativas para o processamento do café.

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.

Segundo CAMPOS (1998), a classificação quanto à bebida tem como base o sabor e o aroma 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.

## **2.2. A água contida nos grãos**

Após a colheita faz-se necessário à adoção de alguns processos para conservação do produto, que consiste basicamente na retirada de parte da água contida no mesmo, pois, o comportamento dos grãos durante o armazenamento depende da temperatura e do teor de umidade em que se encontra o produto (BROOKER et al., 1992).

Para entender melhor o papel da água dos grãos, é necessário compreender alguns princípios básicos que envolvem a fixação da água pelos constituintes químicos dos produtos.

De acordo com PEREIRA et al. (1987) a água contida nos grãos se apresenta em diferentes formas, em função da natureza das ligações químicas existentes entre os componentes da matéria seca e as moléculas de água, determinando, assim, os diferentes níveis de hidratação do produto. Uma porção de água está estreitamente associada com a substância adsorvedora. Constitui-se de uma camada monomolecular fortemente polarizados, que pode estar combinada por intermédio de ligações químicas com a substância, ou seja, é parte integrante de uma dada substância. Encontra-se também nos grãos uma quantidade de água representada por uma camada polimolecular, que se fixa sobre a camada monomolecular precedente e que estão ligadas à matéria por meio de ligações eletromagnéticas, e constituem-se em água pseudoligadas, não-solventes, sem papel biológico e fortemente adsorvida. Nos grãos encontra-se também água líquida sob tensão osmótica. Trata-se de água solvente, que retém diferentes substâncias nas células do material biológico; apresenta-se fracamente adsorvida, tem papel biológico e pode permitir as reações químicas (enzimáticas), bem como o desenvolvimento de fungos; é, em grande parte, retirada pela secagem. Uma determinada quantidade de água pode ser mantida livremente nos espaços correspondentes aos poros existentes nos grãos, isto é, mantida fracamente no sistema por forças capilares. Tal quantidade de água é denominada água de impregnação,

que alguns pesquisadores denominam-na *água livre* ou *absorvida*. É mantida no grão, mecanicamente, pelas paredes celulares; as moléculas das substâncias adsorvedoras não são afetadas, apenas agem como estrutura de suporte.

Ainda de acordo com PEREIRA et al. (1987), essa classificação dos tipos de água presentes nos grãos é meramente uma colocação em categorias usuais. Deve-se ter em mente que em sistemas coloidais, tais como grãos, os quais são constituídos de várias substâncias e possuem uma estrutura organizada, ocorrem muitos tipos de água ligada, na faixa entre a água livre e aquela quimicamente ligada.

### **2.3. 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/mucilagem muito úmida (cerca de 85% b.u.) e, logo após, um tecido celulósico duro (pergaminho), que encobre uma semente com cerca de 50% de teor de umidade b.u.;
- 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).

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).

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).

#### **2.4. Retirada da água superficial**

O processo de centrifugação do produto pode se tornar viável na fase de retirada da água superficial do fruto de café e, portanto, reduzir o tempo de secagem. Um equipamento devidamente projetado pode vir a ser uma importante ferramenta na otimização do processamento pós-colheita do café (MYERS e MONROE, 1972).

A utilização da centrifugação permite a remoção da água superficial (incluindo aí a água de lavagem do produto), acelerando o processo de secagem e evitando que o terreiro fique, num primeiro momento, encharcado (como acontece quando o café sai do lavador e vai direto para o terreiro).

## 2.5. Separação centrífuga

Nas indústrias o principal uso das operações de separação, tem a finalidade de dividir o sólido do líquido. A característica desta separação é a atuação de uma força centrífuga maior que a força da gravidade e que pode ser aumentada elevando-se a rotação. Para o caso de centrífugas utilizadas para decantação de sólidos, tudo se passa como se o peso das partículas fosse multiplicado por um fator maior do que um, de modo que a decantação das partículas pode ser tão rápida quanto se desejar (GOMIDE, 1980).

Separação centrífuga é particularmente utilizada na indústria, para realizar a decantação de sólidos e para filtração. É empregada na separação de líquidos imiscíveis, para separar partículas sólidas ou gotículas em suspensão nos gases, para a separação de gases finamente dispersos em líquidos e ainda para a classificação hidráulica de misturas de sólidos. A separação sólido-líquido em especial é aplicada, na clarificação de óleos lubrificantes, no espessamento de suspensões de amido e na filtração de cristais de açúcar ou de sal comum (FOUST et al., 1982; GOMIDE, 1980).

As centrífugas têm sido aplicadas em operações de separação desde o final do século passado. Apesar disto, não se dispõe, até o momento, de um modelo analítico, matemático ou numérico, que represente com exatidão o fenômeno da separação centrífuga e estabeleça as correlações entre as diversas variáveis do processo. Praticamente todo trabalho de modelagem de centrífugas está baseado na lei de Stokes que prevê o valor da velocidade terminal, que deve existir quando uma partícula esférica, rígida, encontra-se dentro de um meio líquido, de densidade diferente da partícula, estando ambos submetidos à aceleração da gravidade (EFEI, 2000).

O valor desta velocidade terminal é obtido igualando-se os valores da força de empuxo, com a força de arrasto viscoso e neste caso a velocidade terminal é dada pela seguinte expressão:

$$v_t = \frac{(\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_p) g d^2}{18 \mathbf{m}_d} \quad (1)$$

em que:

$v_t$  = velocidade terminal em separadores gravitacionais, ( $m\ s^{-1}$ );

$\rho_m$  = massa específica da fase pesada, ( $kg\ m^{-3}$ );

$\rho_p$  = massa específica da fase leve, ( $kg\ m^{-3}$ );

$g$  = aceleração da gravidade, ( $m\ s^{-2}$ );

$d$  = diâmetro da partícula, (m); e

$\mu_d$  = viscosidade dinâmica, ( $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$ ).

Nos separadores centrífugos, a aceleração a que as partículas estão submetidas não é a gravitacional, mas sim a aceleração centrífuga. Neste caso a velocidade terminal pode ser dada pela seguinte equação:

$$v_c = \frac{(\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_p) \mathbf{w}^2 r_p d^2}{18 \mathbf{m}_d} \quad (2)$$

em que:

$v_c$  = velocidade terminal em separadores centrífugos, ( $m\ s^{-1}$ ),

$\omega$  = velocidade angular do cesto do separador centrífugo, ( $rad\ s^{-1}$ ); e

$r_p$  = raio onde se encontra a partícula, (m).

De acordo com HENDERSON e PERRY (1976), para tamanhos de partículas muito pequenas próximas do tamanho das moléculas do fluido, a lei de Stokes não se aplica. A homogeneização ou a emulsificação promovem um vínculo físico que resulta numa dificuldade ou impossibilidade de separação de partículas suspensas. Um caso interessante é o da gordura da manteiga suspensa no leite; as partículas individuais de gordura combinam-se e agrupam-se de modo que o raio efetivo de tal partícula aumente, consequentemente fazendo tal partícula descer. Este fenômeno é característico de muitas emulsões e suspensões, óleo em água e gases em líquidos, por exemplo.

De uma forma geral pode-se dizer que a Lei de Stokes ainda é o ponto de partida de todas as técnicas de dimensionamento de separadores centrífugos. Mas, sua aplicação não conduz a resultados precisos,

necessitando de fatores de correção empíricos. Porém, estudos realizados por diversos autores, mostram que forças de coriolis, forças devidas à rotação da partícula, bem como a influência do movimento Browniano, podem ser negligenciadas nos estudos dos separadores centrífugos e que o uso da lei de Stokes modelam com boa aproximação o que ocorre (EFEI, 2000).

PARK (1974), que estudou a dinâmica do movimento de sementes em peneiras, estabeleceu que as forças que atuam na semente em uma peneira plana (Figura 2) são: gravidade ( $W$ ); a componente da força paralela à peneira ( $F_p$ ), causada por fricção; a componente da força perpendicular à peneira ( $F_n$ ). Se o ângulo de inclinação da peneira ( $\theta$ ) é pequeno e a peneira está parada, as sementes permanecem na superfície. Porém, se a peneira oscilar  $F_p$  é reduzida e as sementes migram para a parte mais baixa da superfície, permitindo que as sementes pequenas passem por meio dos furos.

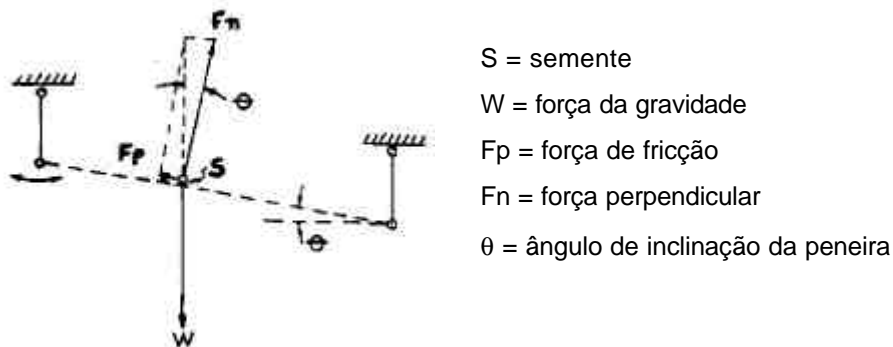


Figura 2 - Semente em uma peneira plana.

Considerando a Figura 3 em que a semente está em uma peneira cilíndrica e que ela gira na peneira a uma velocidade angular ( $\omega$ ), as forças atuantes sobre ela são: a gravidade ( $W$ ); uma componente de força em oposição, paralela à peneira ( $F_p$ ), causada por fricção; e uma componente da força centrífuga perpendicular à peneira ( $F_n$ ), em que:

$$F_n = \frac{W \omega^2 r}{g} \quad (3)$$

em que

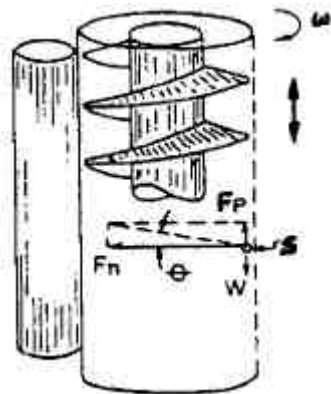
$F_n$  = força centrífuga, N;

$W$  = força da gravidade, N;

$\omega$  = velocidade angular,  $\text{rad s}^{-1}$ ;

$r$  = raio da peneira, m; e

$g$  = aceleração da gravidade,  $\text{m s}^{-2}$ .



S = semente

$\omega$  = velocidade angular

$W$  = força da gravidade

$F_p$  = força de fricção

$F_n$  = força perpendicular

$$= W\omega^2 r g^{-1}$$

$\theta$  =  $\text{arc cot } F_n/F_p$

Figura 3 - Semente em uma peneira cilíndrica vertical.

As forças que atuam no fruto de café durante a separação centrífuga estão esquematizadas na Figura 4. Um fruto tende a se deslocar de uma seção de menor raio para uma seção de maior raio, aumentando, assim, a força centrífuga que age sobre ele (MERIAM, 1976).

Para que um fruto que inicie o processo de centrifugação chegue ao final da sua trajetória têm-se basicamente:

$$m \omega^2 r - F_{at} - P \cos (90^\circ - \theta) > 0 \quad (4)$$

$$F_{at} = \mu N \quad (5)$$

$$N = m \omega^2 r + P \quad (6)$$

em que

$m$  = massa do fruto, (kg);

$\omega$  = velocidade angular, ( $\text{rad s}^{-1}$ );

$r$  = raio da centrífuga, (m);

$F_{at}$  = força de atrito, (N);

$\mu$  = coeficiente de atrito; e

$\theta$  = ângulo de inclinação do cone da centrífuga.

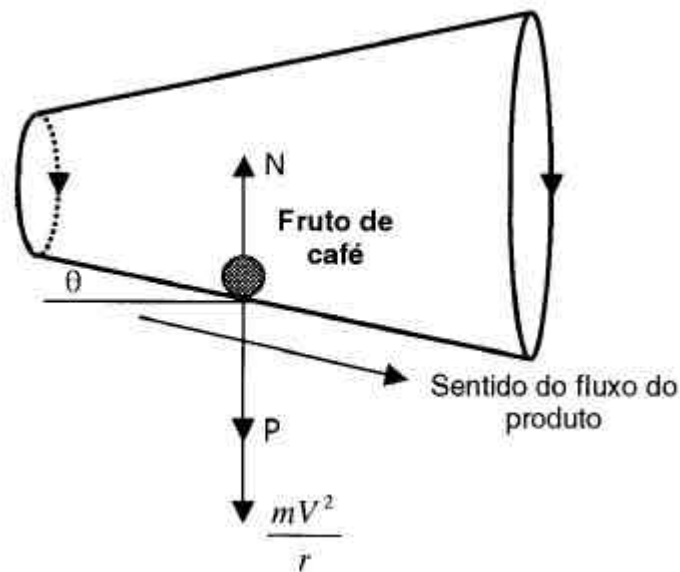


Figura 4 - Esquema das forças que agem sobre o fruto de café durante o processo de centrifugação.

### 2.5.1. Tipos de operação de centrifugação

As operações de centrifugação podem ser descontínuas, semi-contínuas ou contínuas. No primeiro caso a carga e a descarga são feitas com a centrífuga parada. Nas operações semi-contínuas a operação ainda é realizada em batelada, porém não se interrompe a operação para carregar e descarregar. Isto acarreta economia no consumo de energia porque um dos grandes consumos é o necessário para levar a máquina até a rotação de regime. Finalmente, o terceiro tipo de operação é inteiramente contínuo, sendo a alimentação e a descarga realizadas em regime permanente (FOUST et al., 1982; GOMIDE, 1980).

### 2.5.2. Tipos de centrífugas

De acordo com GOMIDE (1980), a separação centrífuga é geralmente realizada por dois tipos de máquinas: centrífugas decantadoras e centrífugas filtrantes.

As centrífugas decantadoras servem para clarificar ou espessar suspensões e são comumente usadas para separação rápida de sólidos suspensos em fluidos e em uma série de processos, como digestão de lodo e extração de óleo de oliva. Nestas centrífugas um tambor horizontal, vertical ou inclinado gira em alta rotação (esta rotação pode variar entre 1.000 e 6.000  $g$ , ou mais, em alguns casos particulares ocorrem aplicações com 10.000  $g$ , em que  $g$  é a aceleração da gravidade) em torno do seu eixo. As partículas sólidas existentes no líquido são mais pesadas e quando sujeitas à força centrífuga, movem-se em direção à parede do cesto onde vão acumulando-se. As velocidades diferenciam-se de acordo com os diferentes diâmetros e densidades da partícula (Lei de Stokes). O sedimento é transportado em direção à parte cônica da centrífuga, onde é descarregado, por meio de parafuso rotativo transportador de baixa velocidade quando comparado com a centrífuga. A operação pode ser contínua ou semi-descontínua (AMIRANTE e CATALANO, 2000).

As centrífugas filtrantes constam de uma cesta que gira em alta velocidade em torno de um eixo vertical ou horizontal e cuja parede é feita de tela ou chapa perfurada. Os sólidos vão para a periferia e formam uma torta cuja espessura vai aumentando à medida que a operação prossegue. O material filtrado passa através da torta e da tela, sendo recolhido em um tambor em cujo interior está girando a cesta. A descarga da torta pode ser contínua ou descontínua, porém é sempre feita com uma lâmina que raspa os sólidos depositados (GOMIDE, 1980; McCABE et al., 1976).

KINCH (1959) desenvolveu e testou uma centrífuga para obtenção de suco de maracujá, com rotação de 800 rpm, com a qual obteve eficiência de extração de 94%.

MYERS e MONROE (1972), desenvolveram uma centrífuga para retirada da água superficial do café depois da lavagem do produto. Para os testes foi utilizado café natural com velocidades variando entre 900 e 1.300 rpm. Concluíram que a 1.100 rpm a eficiência de retirada da água foi maior. Para um total de aproximadamente 34 toneladas de café foram retirados 517 litros de água. Os autores estimaram em 2 horas a redução do tempo total de secagem com a utilização da centrífuga, e em 45 litros de óleo combustível a economia de energia no processo de secagem subsequente.

Uma centrífuga decantadora de alta velocidade foi utilizada para extração de suco de cerejas doces e ácidas, damascos e pêssegos. A máquina possui velocidade de rotação de 5.696 rpm (condição apresentada para maçãs) e uma profundidade do cesto de 39 mm. A máquina foi alimentada com uma pasta de frutos que ficava em centrifugação durante 10 min, ao final do que mediu-se parâmetros como: sólidos suspensos, acidez titulável, pH e viscosidade, com o objetivo de testar a qualidade do material obtido. A capacidade da máquina foi de:  $0,36 \text{ kg s}^{-1}$ ,  $0,38 \text{ kg s}^{-1}$ ,  $0,23 \text{ kg s}^{-1}$  e  $0,1 \text{ kg s}^{-1}$ , para pêssegos, cerejas ácidas, damascos e cerejas doces, respectivamente. Concluiu-se que a máquina pode ser utilizada para extração de suco de todas as frutas testadas. A qualidade final do produto obtido depende da qualidade inicial do mesmo. O rendimento foi bastante alto (85-95%) para todas as taxas de alimentação testadas (BEVERIDGE e HARRISON, 1995).

## **2.6. Análise de custos**

O agricultor, ao optar por adquirir uma máquina, deverá ter em mente que isso representará, no mínimo, um acréscimo de despesas com essa máquina, que deverão ser reembolsadas, para que não venha a constituir um prejuízo ao empreendimento. O estabelecimento do custo de um serviço realizado por uma máquina, ou implemento, é importante não só para servir de base para o cálculo do custo operacional das máquinas e implementos, como também, para compor os custos inerentes às operações por ela realizadas (TEIXEIRA et al, 1999).

Os custos do trabalho das máquinas são compostos por custos fixos e custos variáveis ou custos diretos e indiretos (LEONE, 2001).

### **2.6.1. Custos fixos**

Os custos fixos são aqueles que não variam com o volume de produção ou número de horas trabalhadas, ou seja, independem do volume da atividade. São caracterizados pelos gastos decorrentes dos juros sobre o capital empenhado na compra de uma máquina, da depreciação, do custo do

abrigo, dos seguros e da taxa de impostos (LEONE, 2001; MARTINS, 1996; TEIXEIRA et al, 1999).

#### **2.6.1.1. Aquisição e instalação**

É o capital utilizado para a aquisição de um determinado equipamento, bem como o capital utilizado para a instalação deste equipamento, definido como (Vi).

#### **2.6.1.2. Depreciação**

É a parcela que deve incidir sobre o custo da máquina correspondente à perda de valor da mesma, considerando-se sua vida útil. A depreciação de uma máquina é função da freqüência de seu uso, da forma de operar, da manutenção realizada, ou seja, refere-se ao desgaste físico da máquina.

Um dos métodos mais utilizados para a estimativa da depreciação é o “Método da Linha Reta” ou “Método Linear”, que consiste na amortização do capital empatado, em parcelas iguais, durante a vida útil da máquina. É calculado de acordo com seguinte expressão:

$$Depreciação = \frac{Vi - Vs}{Vu} \quad (7)$$

em que

Vi = Valor inicial de aquisição da máquina, R\$;

Vs = Valor final ou valor de sucata, R\$; e

Vu = vida útil, anos.

O valor final, ou de sucata (Vs), pode ser estimado em 10% do valor inicial.

### **2.6.2. Custos variáveis**

Os custos variáveis são aqueles que variam em proporção direta com o nível de atividade, volume de produção, ou com o número de horas trabalhadas, por exemplo: as despesas com combustíveis, lubrificantes, manutenção e operadores das máquinas (LEONE, 2001; MARTINS, 1996).

O custo de manutenção é normalmente estimado entre 4 e 6% ao ano, sobre o investimento inicial (TEIXEIRA et al., 1999).

É importante ressaltar o custo da energia elétrica utilizada nos motores. Para determinação do consumo de energia em quilowatt-hora, multiplica-se sua potência, pelo número de horas trabalhadas. Estabelecido o consumo basta multiplica-lo pelo valor cobrado pelas concessionárias de energia elétrica e obter o custo.

### **2.7. Vida útil das máquinas**

A vida útil das máquinas depende de vários fatores, tais como: condições de trabalho, manutenção periódica e cuidados operacionais (FERNANDES et al. 2003; TEIXEIRA et al., 1999).

No Quadro 1, são apresentados os valores médios de vida útil dos equipamentos utilizados no meio agrícola.

Quadro 1 – Vida útil das máquinas agrícolas

<b>Máquinas</b>	<b>Vida útil (anos)</b>	<b>Trabalho anual (horas)</b>
Tratores de rodas	8 - 10	1200 – 1500
Tratores de esteiras	8 - 10	1000
Arados	5 - 10	150 – 200
Grades	5 - 10	150 – 200
Semeadoras	5 - 10	100 – 200
Cultivadores	10 - 12	150 – 200
Colhedoras	8 - 10	200 – 250
Ceifadoras	8 - 15	150 – 200
Ancinhos	10 - 12	150 – 200
Enfardadoras	8 - 10	200 – 250
Carretas	8 - 10	300 – 400
Subsoladores	5	200 – 400
Sulcadores	5 - 10	150 – 200
Bombas hidráulicas	10	-
Motores elétricos	10	-

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Fazenda do Rocio localizada no município de Paula Cândido, propriedade do senhor Leopoldo Bessone e na Fazenda da Pedra Redonda localizada no município de Araponga, propriedade do senhor José Santana, durante os meses de julho e agosto de 2002.

Utilizou-se café (*Coffea arabica* L.) da variedade Catuaí em seu estado natural e desmucilado. A colheita do produto em ambas propriedades foi feita pelo sistema de derriça no pano, procedendo-se, em seguida, a lavagem e a separação dos frutos verdes, cereja e bóia com descascamento e desmucilamento dos frutos cereja.

O processo de centrifugação utilizado com o objetivo de retirar a água superficial do produto, iniciava-se logo após a lavagem do café bóia e lavagem e desmucilamento do café cereja. O esquema da Figura 5 demonstra as fases do processamento do café utilizado no experimento incluindo o processo de centrifugação.

Foram retiradas amostras do produto procedente dos testes realizados nas citadas propriedades, que eram levadas, no mesmo dia, para o laboratório de sementes do Setor de Pré-Processamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), situada no município de Viçosa-MG, para análises pertinentes à avaliação do produto.

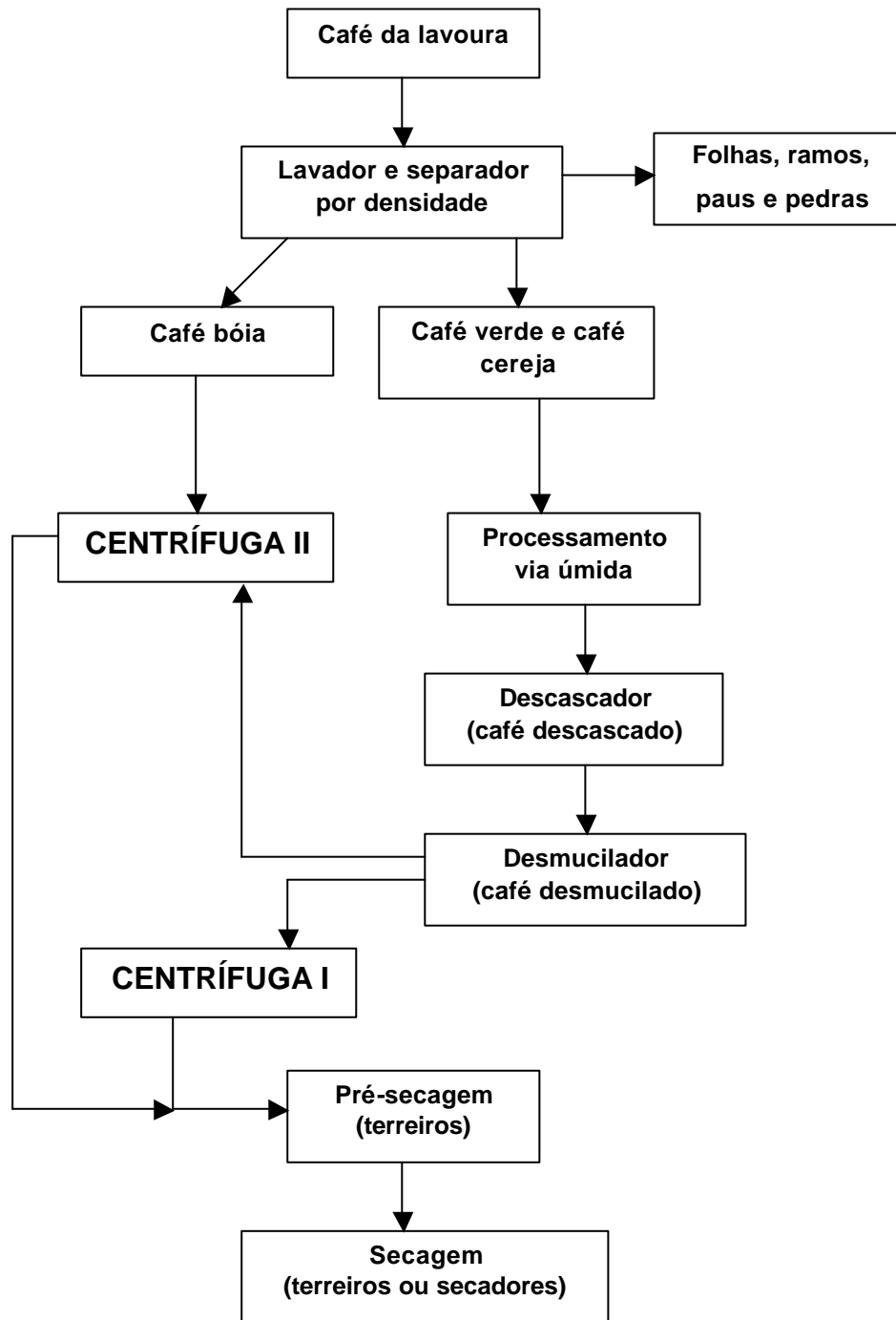


Figura 5 - Fluxograma do procedimento utilizado para o processamento do café, incluindo o processo de centrifugação.

### 3.1. As centrífugas utilizadas

Foram construídas duas centrífugas de configurações diferentes entre si e com o objetivo de remover a água superficial do produto.

#### 3.1.1. Centrífuga I

A primeira centrífuga testada opera no sentido vertical e foi construída no setor de Mecanização Agrícola do DEA/UFV (Figura 6). A centrífuga que foi construída para trabalhar num processo contínuo, consta de uma moega de alimentação que conduz o produto a um helicóide que está acoplado a um eixo de 1", que por sua vez está ligado a um motor trifásico de 2 cv. Quando o helicóide gira, o mesmo conduz o produto até a centrífuga propriamente dita, que possui 0,55 m de comprimento e 0,17 m de diâmetro e consta de uma chapa perfurada em forma de cilindro que gira numa rotação pré-estabelecida envolvendo um outro helicóide fixo com a função apenas de auxiliar no transporte do produto (Figura 7 e 8). O produto depois de passar pela centrifugação é descarregado pela parte superior da máquina e conduzido à secagem.



Figura 6 - Centrífuga vertical para café.

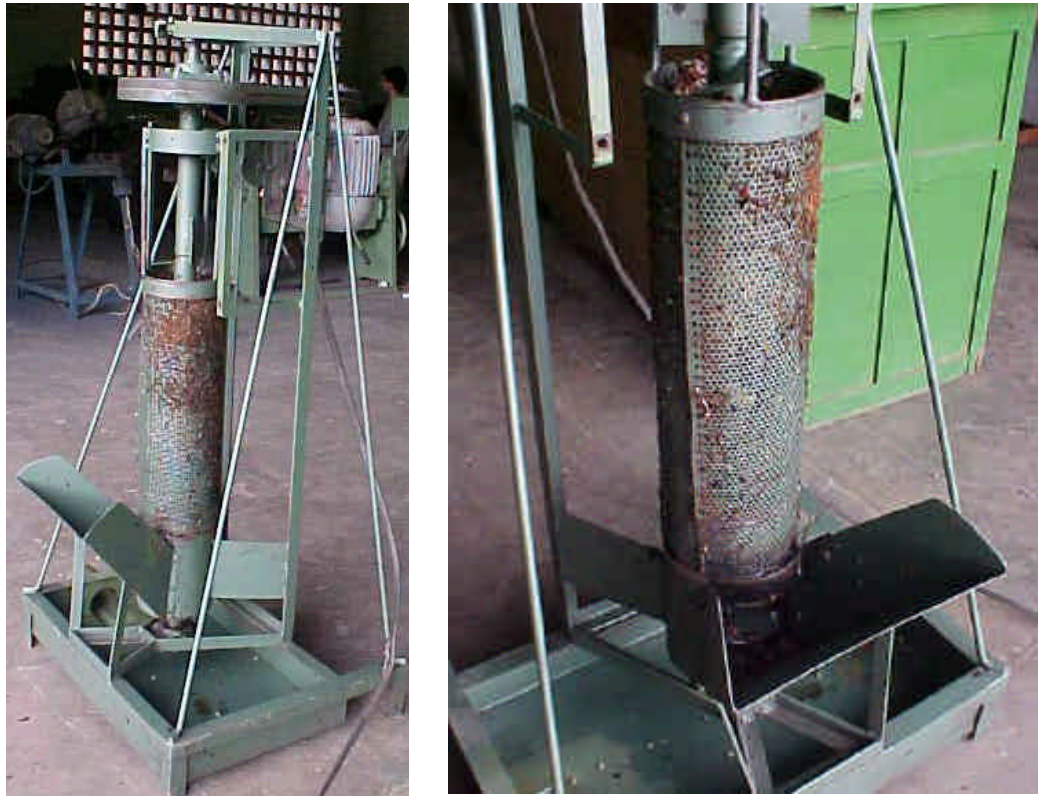


Figura 7 - Centrífuga vertical para café – detalhes do cilindro centrifugador.

A Figura 8 mostra um corte transversal da centrífuga com suas principais dimensões.

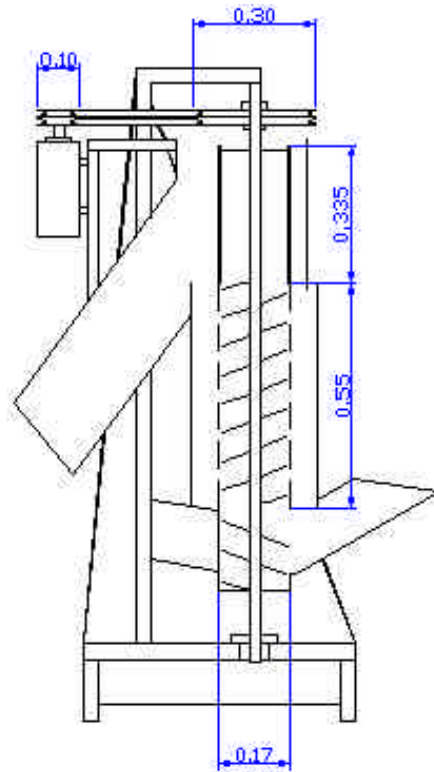


Figura 8 - Corte transversal da centrífuga I.

### 3.1.2. Centrífuga II

A segunda centrífuga construída e denominada Centrífuga II opera no sentido horizontal e foi construída no setor de Pré-Processamento de Produtos Vegetais do DEA/UFV (Figura 9). A centrífuga em questão possui uma moega de alimentação em uma das extremidades onde o produto é colocado e conduzido até um tronco de cone confeccionado em chapa perfurada com 0,30 e 0,60 m de diâmetros, menor e maior, respectivamente (Figura 10). O comprimento deste tronco de cone é de 1,40 m, o mesmo está acoplado a um eixo movimentado por um motor trifásico. É nesta parte da centrífuga que ocorre a centrifugação do produto.

Depois da centrifugação, considerando o tempo desejado para o processo a centrífuga é desligada e o produto é descarregado pela extremidade oposta à de alimentação.

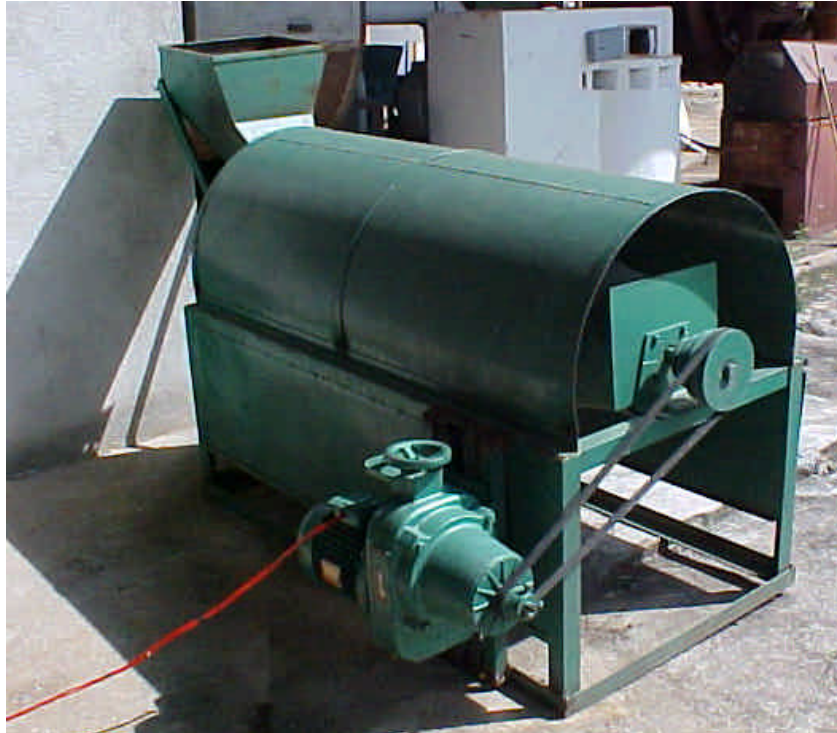


Figura 9 - Centrífuga horizontal para café.



(a)



(b)

Figura 10 - (a) Detalhe do cilindro centrifugador, e (b) detalhe do motor/variador de velocidade ligado ao eixo que movimenta a centrífuga.

A Figura 11 mostra as vistas frontal e posterior da centrífuga com suas respectivas dimensões, e, a Figura 12, mostra um corte de perfil da mesma, também com suas dimensões.

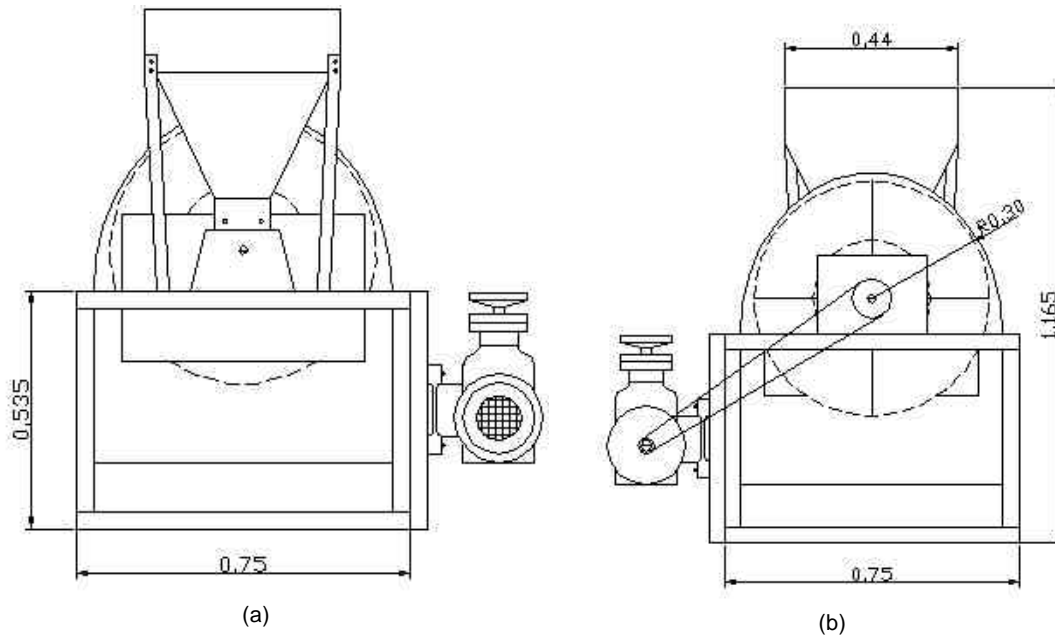


Figura 11 - Centrífuga II: (a) Vista frontal e (b) vista posterior.

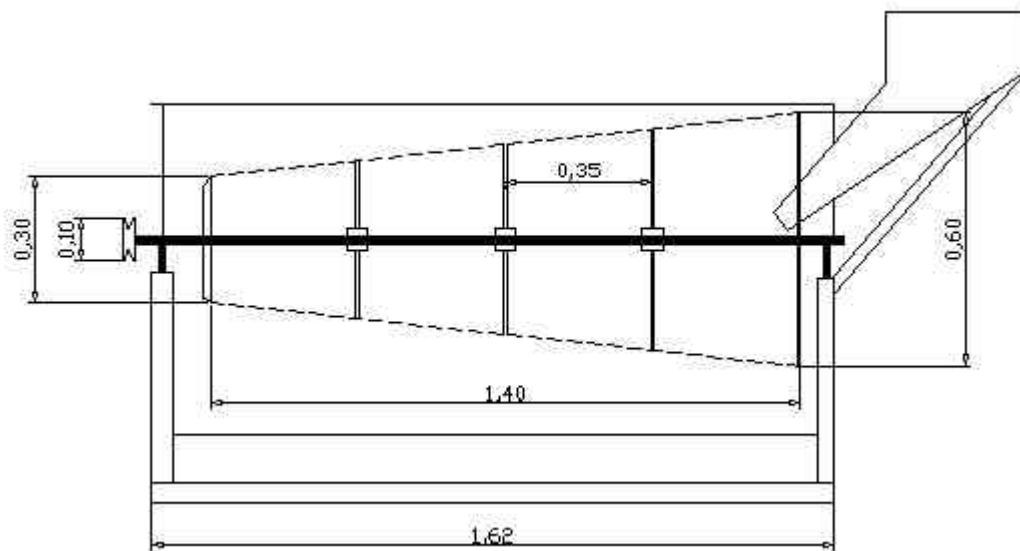


Figura 12 - Centrífuga II: Corte de perfil.

## **3.2. Os testes experimentais**

### **3.2.1. Testes com a centrífuga I**

Os testes com a centrífuga I foram realizados com café cereja desmucilado proveniente da Fazenda do Rocio. O café depois de sair do desmucilador era conduzido à centrífuga em movimento. Cronometrava-se então cinco minutos, desligava-se a centrífuga e determinava-se a quantidade de produto centrifugado durante aquele determinado tempo.

De cada teste realizado foram retiradas amostras que eram posteriormente levadas ao laboratório para determinações de massa específica, teor de umidade para verificação da quantidade de água removida do produto e porcentagem de grãos danificados (PGD) para verificar se a centrífuga utilizada danificava o produto.

Foram utilizadas seis diferentes rotações nos testes realizados: 300, 400, 500, 600, 700 e 800 rpm. As diferentes rotações eram obtidas por meio de um inversor de frequência modelo Varispeed 616 PC5 que foi acoplado ao motor.

#### **3.2.1.1. Massa específica**

Para determinação da massa específica do produto utilizou-se a média de duas sub amostras de cada amostra de produto submetidas a uma balança de peso hectolitro com capacidade para um litro de produto, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

#### **3.2.1.2. Teor de umidade**

Para determinação do teor de umidade do produto foi utilizado o teste padrão de estufa, que consiste em colocar amostras de aproximadamente 30 gramas de produto em estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , por um período de 24 horas, sendo realizadas três repetições por amostra (BRASIL, 1992).

### 3.2.1.3. Porcentagem de grãos danificados (PGD)

Este parâmetro foi medido nos testes realizados com café cereja desmucilado utilizado na centrífuga I. Neste caso estabeleceu-se uma metodologia específica com o objetivo de verificar se a centrifugação do café, por se tratar de um processo mecânico, contribuía para o aumento da porcentagem de grãos danificados, principalmente quebrados e com pergaminho danificado. Para tanto, a metodologia proposta consistia em se retirar uma amostra de 200 gramas de produto de cada teste realizado; desta amostra, separavam-se os grãos quebrados e sem pergaminho ou com pergaminho danificado, posteriormente pesou-se estes grãos e, em relação à massa total da amostra eram obtidas as porcentagens dos grãos danificados.

O cálculo do acréscimo das porcentagens de grãos danificados em relação à amostra testemunha foi feita de acordo com a seguinte expressão:

$$PGD = \frac{PGD_t - PGD_r}{100 - PGD_r} - 100 \quad (8)$$

em que

$PGD$  = Porcentagem de grãos danificados, %;

$PGD_r$  = Porcentagem de grãos danificados para uma determinada rotação, %; e

$PGD_t$  = Porcentagem de grãos danificados para a testemunha, %.

### 3.2.1.4. Capacidade de centrifugação

O café depois de sair do desmucilador era conduzido à centrífuga, cronometrava-se então cinco minutos, desligava-se a centrífuga e pesava-se a quantidade de produto centrifugado durante aquele determinado tempo. Multiplicando o valor obtido por 12 obteve-se a capacidade operacional em  $\text{kg h}^{-1}$ .

Para o cálculo das capacidades específicas ( $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) multiplicou-se os valores de capacidade operacional pela área do cilindro de centrifugação.

### **3.2.2. Testes com a centrífuga II**

Para realização dos testes com a centrífuga II foi utilizado café cereja desmucilado e café bóia provenientes da Fazenda da Pedra Redonda. Cada teste consistia em se alimentar a centrífuga em movimento com aproximadamente 10 kg de café desmucilado ou com aproximadamente 6 kg de café bóia. Começava-se então, a cronometrar o tempo e transcorrido o período pré-estabelecido desligava-se a centrífuga.

De modo a facilitar o descarregamento da máquina a mesma foi mantido numa inclinação de 15°. Tal inclinação foi obtida em testes preliminares.

De cada teste realizado retiraram-se amostras para posterior determinação da massa específica e do teor de umidade, que foram feitas seguindo a metodologia descrita nos itens 3.2.1.1 e 3.2.1.2, respectivamente.

Os testes experimentais foram feitos considerando-se três diferentes tempos de centrifugação do produto (30, 45 e 60 s) e três diferentes rotações da centrífuga (300, 400 e 500 rpm), pois como este protótipo vibrava muito à medida que, aumentava-se a, rotação, não foi possível a realização de testes com velocidades mais altas que 500 rpm.

As diferentes rotações foram obtidas por meio de um variador de velocidade acoplado ao motor e medidas com um tacômetro digital que, por sua vez, era acoplado ao eixo da centrífuga.

Com o objetivo de ampliar a avaliação da centrífuga II, considerando que a safra de café na região já havia acabado na maioria das propriedades e que ficou difícil conseguir produto para mais testes, utilizou-se de um café em coco da safra anterior (2001) que, se encontrava seco e armazenado no Setor de Armazenamento e Pré-Processamento de Produtos Vegetais do DEA/UFV. Para tanto, adotou-se o seguinte procedimento: o café foi novamente molhado e para tal, era, colocado num tanque com água deixando-o por tempos pré-determinados, de 1, 2 e 3 horas.

Os testes foram feitos considerando um tempo de centrifugação de 30s e rotações de 300, 400 e 500 rpm, respectivamente, com três repetições para cada tempo de molhamento e rotação. Neste caso os demais tempos não foram utilizados, porque a quantidade de produto não foi suficiente.

Neste caso mediu-se o teor de umidade antes do molhamento, depois do molhamento e depois de cada teste de centrifugação.

Com o objetivo de comparar a diferença entre o café molhado sem centrifugar e o café molhado passado pela centrífuga, foi feita uma secagem dos dois produtos e com os valores de teor de umidade obtidos foi feita uma curva de secagem.

A secagem não foi realizada para os demais tratamentos, por falta de espaço físico nas propriedades e porque para realização da secagem na universidade, o produto teria que ser transportado podendo perder água e não apresentar resultados reais. Levando em consideração este fator, tal objetivo não foi inicialmente considerado.

Para a curva de secagem do café testemunha, utilizou-se café em coco depois de 3 horas de molhamento e para a curva do café centrifugado, utilizou-se o mesmo produto passado pela centrífuga a 500 rpm e 30s de centrifugação.

As duas secagens foram feitas simultaneamente durante os dias 13, 14 e 15 de setembro/2002. O café foi seco utilizando-se um protótipo de silo secador com ventilação forçada e sem aquecimento do ar de secagem (Figura 13).

O teor de umidade do produto foi monitorado de duas em duas horas, e, como, necessitava-se de um resultado imediato utilizou-se o EDABO que é um método direto de determinação de umidade que consiste na evaporação da água em banho de óleo (SILVA, 1995).



Figura 13 - Protótipo do silo secador utilizado na secagem do café.

### 3.3. Análise dos resultados

#### 3.3.1. Centrífuga I

Durante o período de realização do experimento, foram feitos três testes de centrifugação por dia e para cada rotação. Tendo em vista que durante um dia a colheita era realizada no mesmo talhão, considerou-se que o lote de café colhido era homogêneo. Dos dados obtidos nos três testes diários para cada rotação foi feita a média aritmética apresentada nos quadros do item 4.1. referente aos resultados obtidos para a centrífuga I.

Os dados apresentados são resultado de oito dias de testes, dos quais obteve-se para cada parâmetro verificado e para cada rotação testada as médias, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Aos resultados médios obtidos, aplicou-se linha de tendência para verificar o comportamento dos dados de cada parâmetro observado de acordo com a rotação. Para tanto, utilizou-se de ferramenta específica do programa Microsoft Excel 2000.

Para o cálculo das percentagens de perda de água do café para cada rotação em relação à amostra testemunha utilizou-se a seguinte expressão:

$$PA = \frac{TU_i - TU_f}{100 - TU_f} \cdot 100 \quad (9)$$

em que

$PA$  = Perda de água, %;

$TU_i$  = Teor de umidade inicial/testemunha, % b.u.; e

$TU_f$  = Teor de umidade final/para cada rotação, % b.u.

#### 3.3.2. Centrífuga II

Para o café bóia e para o café cereja desmucilado, foram feitos três testes de centrifugação por dia, para cada rotação e tempo de centrifugação testados. Dos dados obtidos nos três testes diários para cada rotação foi feita a média aritmética apresentada nos quadros do item 4.2. referente aos

resultados obtidos para a centrífuga II. Dos dados de teor de umidade para cada rotação testada, resultantes de seis dias de testes, obteve-se as médias, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

O cálculo da perda de água do café para cada rotação em relação à amostra testemunha foi feita de acordo com a Equação (9).

Para o café molhado foram feitas três repetições para cada rotação e tempo de molhamento. Os parâmetros observados foram o teor de umidade e a massa específica, dos quais obteve-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada rotação e tempo de molhamento verificado.

### **3.4. Análise de custo**

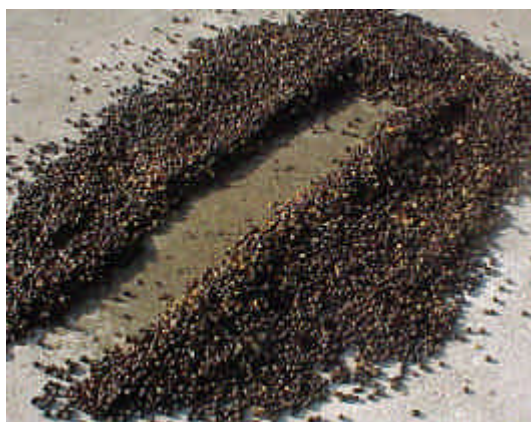
Para análise dos custos fixos, fez-se um levantamento do material utilizado para construção das duas centrífugas e com base no custo desse material, no trabalho realizado para sua construção e no projeto estabeleceu-se o preço de cada uma das centrífugas utilizadas.

A depreciação foi calculada de acordo com a expressão 7 e a vida útil das centrífugas foi estimada em 8 anos, por ser um valor médio estimado para máquinas agrícolas e de processamento. O valor de sucata, foi estimado em 10% do valor inicial de aquisição.

Para análise dos custos variáveis, estipulou-se uma taxa de manutenção de 5% ao ano de acordo com TEIXEIRA et al (1999). Estimou-se ainda o custo de energia elétrica de acordo com a potência do motor utilizado e o número de horas anuais de trabalho da centrífuga.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 14 (a) apresenta o café colocado no terreiro depois de sair do lavador, da forma que ocorre na maioria das propriedades produtoras, onde se pode perceber que o produto muito úmido, molha todo o terreiro o que pode favorecer a deterioração do mesmo.



(a)



(b)

Figura 14 - (a) Café colocado no terreiro depois de sair do lavador; e (b) café colocado no terreiro depois do processo de centrifugação.

A Figura 14 (b) apresenta o café que depois de sair do lavador passa pelo processo de centrifugação antes de ir ao terreiro para secagem complementar. Neste caso, percebeu-se que o terreiro permaneceu seco devido ao fato de que parte da água utilizada na lavagem do produto foi retirada pelo processo em questão.

#### 4.1. Centrífuga I

Os teores de umidade médios diários obtidos como resultado dos testes de centrifugação, realizados com café cereja desmucilado proveniente da Fazenda do Rocio, para as diferentes rotações testadas estão demonstrados no Quadro 2. No Quadro 3 estão apresentados os valores médios das perdas de água em porcentagem sofrida pelo produto ao passar pelo processo de centrifugação, para as diferentes rotações testadas.

Quadro 2 - Teores de umidade (% b.u.) do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga I

Ensaio	Testemunha	Rotações (rpm)					
		300	400	500	600	700	800
1	56,50	54,21	53,82	53,52	53,06	53,20	53,38
2	55,30	53,89	53,58	52,56	52,67	52,56	52,93
3	54,56	52,93	52,61	52,35	52,30	52,56	52,85
4	64,94	60,32	58,53	57,76	60,11	59,66	59,95
5	54,77	52,94	52,18	51,99	51,81	51,35	51,77
6	54,63	54,68	52,23	52,08	51,74	51,27	51,08
7	57,39	54,68	54,60	53,94	53,93	53,18	53,31
8	56,56	54,08	53,72	53,67	53,47	53,54	52,58
Médias	56,83	54,72	53,91	53,48	53,64	53,41	53,48
DP ( $\sigma$ )	3,44	2,36	2,05	1,88	2,72	2,66	2,73
CV (%)	6,05	4,32	3,81	3,52	5,08	4,97	5,10

Quadro 3 - Perda de água (%) do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações - Centrífuga I

Ensaio	Rotações (rpm)					
	300	400	500	600	700	800
1	5,00	5,80	6,41	7,32	7,05	6,69
2	3,06	3,70	5,77	5,56	5,77	5,03
3	3,46	4,11	4,64	4,74	4,21	3,63
4	11,64	15,46	17,00	12,11	13,09	12,46
5	3,89	5,42	5,79	6,14	7,03	6,22
6	-0,11	5,02	5,32	5,99	6,89	7,26
7	5,98	6,14	7,49	7,51	8,99	8,74
8	5,40	6,14	6,23	6,64	6,50	8,39
Médias	4,79	6,47	7,33	7,00	7,44	7,30
DP ( $\sigma$ )	3,34	3,74	3,99	2,25	2,65	2,67
CV (%)	69,84	57,78	54,48	32,18	35,57	36,62

Nos Quadros 2 e 3 pode-se perceber que a centrífuga testada, retirou parte da água superficial do produto. Dos resultados obtidos e demonstrados no Quadro 2, obteve-se a média total para cada rotação testada e para a

testemunha e a esses valores aplicou-se teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade, para verificação da diferença de umidade entre as diferentes rotações testadas. O resultado apresentou diferença estatística entre a testemunha e cada tratamento realizado (rotações), porém, não apresentou diferença entre os tratamentos.

Nos resultados apresentados nos Quadros 2 e 3 percebe-se que o desvio padrão chega em alguns casos a praticamente 4 pontos percentuais o que caracteriza a grande variabilidade dos dados, que também é verificada nos dados obtidos para a testemunha. O coeficiente de variação verificado para os dados demonstra claramente esta grande variabilidade o que pode ser explicado pelo fato de que o café proveniente da lavoura e processado em um determinado dia poderia ter sido colhido em uma localidade diferente do café colhido no outro dia, resultando principalmente em graus de maturação diferentes. A referida variabilidade de acordo com a micro-região colhida era verificada, muitas vezes não só de um dia para outro, mas, também ao longo do dia, considerando que de tempo em tempo chegava na unidade de processamento do café um determinado lote que acabava se misturando a outro que já se encontrava no local. Porém, como o objetivo do trabalho era verificar qual a melhor rotação para retirada da água superficial do café, considerou-se para análise a média dos dados obtidos nos ensaios realizados para cada rotação.

Na Figura 15 pode-se observar que, os teores de umidade entre os tratamentos, com exceção das rotações 300 e 400 rpm, praticamente não diferem, podendo-se concluir que as rotações acima de 500 rpm apresentaram o mesmo desempenho quanto ao teor de umidade do produto.

A Figura 16 apresenta a perda de água do café em porcentagem para cada rotação testada, onde se verifica que as rotações de 300 e 400 rpm apresentam resultados inferiores na perda de água, mostrando com mais clareza os resultados apresentados na Figura 15.

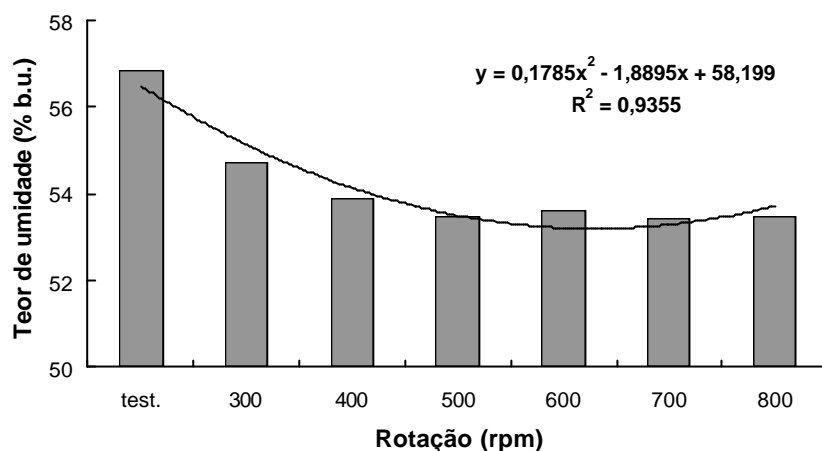


Figura 15 - Teores de umidade do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas no processo de centrifugação – Centrífuga I.

Nas Figuras 15 e 16 aplicaram-se linhas de tendência, e, a que melhor se ajustou aos resultados, foi a polinomial de 2<sup>o</sup> ordem, cuja equação e coeficiente de ajuste do modelo ( $R^2$ ) está apresentado nas respectivas Figuras. O modelo representativo dos dados em questão se ajustou muito bem com  $R^2$  acima de 0,9, porém, vale salientar que, considerando a grande variabilidade dos dados, sugere-se que em experimentos futuros novas repetições sejam realizadas, de forma a comprovar a representatividade dos dados pelo modelo ajustado.

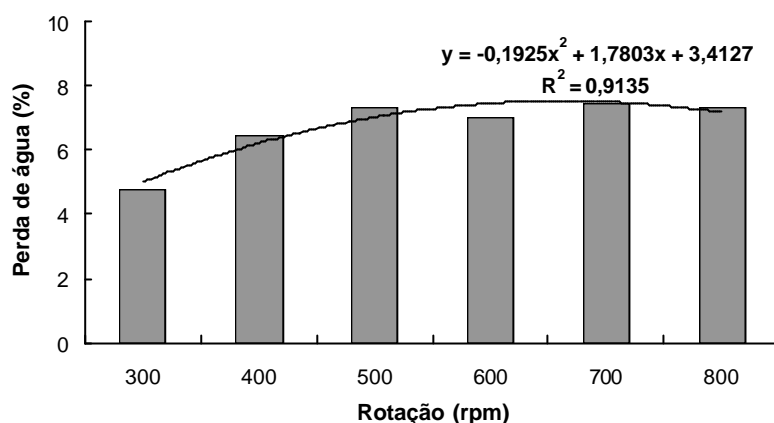


Figura 16 - Perda de água (%) do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas no processo de centrifugação – Centrífuga I.

O Quadro 4 mostra as médias diárias registradas na quantificação da PGD do produto para as diferentes rotações testadas e o Quadro 5 mostra o acréscimo desses valores em relação à amostra testemunha. O resultado pode ser melhor observado nas Figuras 17 e 18 que apresentam os valores médios obtidos nos testes.

Quadro 4 - Percentagens de grãos danificados (PGD) do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga I

Ensaio	Testemunha	Rotações (rpm)					
		300	400	500	600	700	800
1	5,10	6,12	6,38	6,23	4,90	6,45	7,02
2	2,70	4,49	5,30	5,35	4,85	5,52	5,37
3	6,21	7,65	8,97	6,84	6,29	8,45	10,98
4	7,45	7,62	8,52	8,45	9,41	8,59	8,93
5	6,34	8,42	8,02	9,47	8,57	8,63	9,42
6	6,45	6,39	7,88	9,90	8,73	7,54	10,25
7	7,85	12,82	12,00	12,10	11,70	12,36	14,32
8	3,98	4,9	4,39	5,23	4,75	6,97	7,68
Médias	5,76	7,30	7,68	7,95	7,40	8,06	9,25
DP ( $\sigma$ )	1,74	2,61	2,37	2,45	2,58	2,06	2,73
CV (%)	30,22	35,80	30,87	30,80	34,89	25,56	29,57

Quadro 5 - Acréscimo nas percentagens de grãos danificados (PGD) do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga I

Ensaio	Rotações (rpm)					
	300	400	500	600	700	800
1	1,08	1,37	1,20	-0,21	1,44	2,06
2	1,08	2,74	2,80	2,26	2,98	2,82
3	1,08	3,03	0,67	0,08	2,45	5,36
4	0,18	1,17	1,09	2,16	1,25	1,62
5	2,27	1,83	3,46	2,44	2,50	3,40
6	-0,06	1,55	3,83	2,50	1,18	4,23
7	5,70	4,71	4,83	4,36	5,14	7,55
8	0,97	0,43	1,32	0,81	3,21	4,01
Médias	1,54	2,10	2,40	1,80	2,52	3,88
DP ( $\sigma$ )	1,82	1,34	1,53	1,50	1,32	1,91
CV (%)	118,23	63,99	63,98	83,33	52,32	49,19

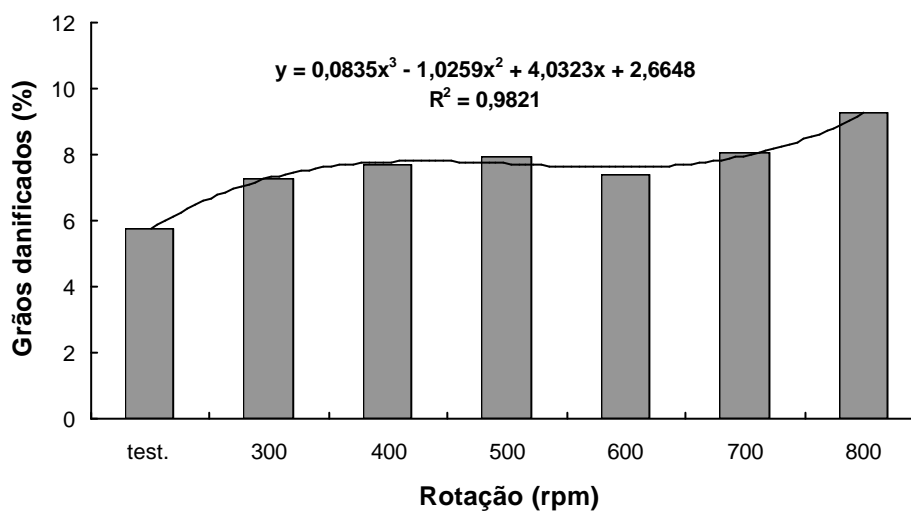


Figura 17 - Percentagens médias de grãos danificados do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas no processo de centrifugação – Centrífuga I.

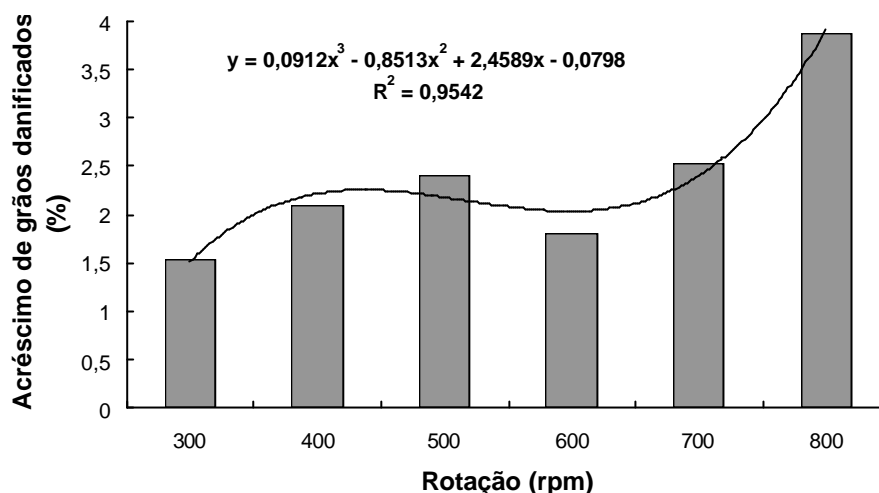


Figura 18 - Acréscimo nas percentagens médias de grãos danificados do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas no processo de centrifugação – Centrífuga I.

Nos resultados apresentados observa-se que a centrífuga I contribui para o aumento da PGD no produto, o que fica claro quando se compara os valores do café testemunha com o café centrifugado, pois praticamente todos os resultados da PGD foram mais altos.

De acordo com as Figuras 17 e 18, ocorre um equilíbrio entre os tratamentos com rotações mais baixas e um aumento em praticamente todos os casos para a rotação de 800 rpm.

No caso da PGD do produto, observa-se, de acordo com as Figuras 17 e 18, que o modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados foi o polinomial de 3º ordem com um bom coeficiente de ajuste.

Durante a realização dos testes verificava-se que à medida que se aumentava a rotação, aumentava também a vibração da máquina. Se a mesma fosse fixada ao local de processamento, provavelmente ficaria mais estável o que poderia contribuir para a diminuição da porcentagem de grãos danificados.

Considerando ainda os parâmetros relativos ao produto, determinou-se ainda a massa específica, que estão apresentadas no Quadro 6. Os valores médios totais obtidos para este parâmetro, considerando as diferentes rotações testadas estão representadas na Figura 19.

Quadro 6 - Massa específica do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga I

Ensaio	Testemunha	Rotações (rpm)					
		300	400	500	600	700	800
1	691,15	669,10	669,80	669,33	667,20	663,00	655,15
2	699,40	676,70	671,30	668,03	665,80	663,67	666,05
3	709,60	664,30	669,35	671,60	667,25	664,00	661,40
4	710,54	675,50	674,70	670,70	671,30	668,00	666,70
5	699,45	672,33	663,63	666,00	664,47	661,37	660,93
6	712,60	675,47	670,80	666,43	665,93	667,07	665,63
7	689,05	664,87	666,13	662,47	662,20	657,17	656,50
8	712,50	672,05	671,10	669,70	668,20	666,15	658,25
Médias	703,04	671,29	669,60	668,03	666,54	663,80	661,33
DP ( $\sigma$ )	9,59	4,79	3,39	2,97	2,68	3,47	4,48
CV (%)	1,36	0,71	0,51	0,44	0,40	0,52	0,68

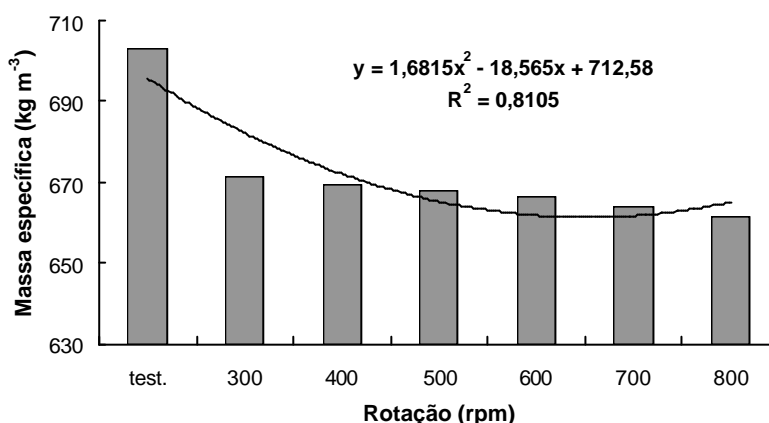


Figura 19 - Massa específica do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas no processo de centrifugação – Centrífuga I.

Pode-se observar com a Figura 19 que, a massa específica do produto reduz com o processo de centrifugação. Observa-se também, neste caso um equilíbrio entre os resultados obtidos para os diferentes tratamentos com valores um pouco mais baixos para as rotações de 700 e 800 rpm.

Os valores de massa específica do café foram, obtidos para comparação com os dados de teores de umidade, já que de acordo com BRASIL (1992) a massa específica varia conforme o teor de umidade do produto varia. Dessa forma, comparando-se a Figura 15 com a Figura 19, verifica-se que os dados seguem o mesmo comportamento, inclusive com valores menores para as rotações de 700 e 800 rpm, onde podemos comprovar

que a eficiência na retirada de água superficial do café aumenta com o aumento da rotação da centrífuga. O modelo ajustado para ambos casos foi o polinomial de 2º ordem, como pode ser verificado nas respectivas Figuras com um bom coeficiente de ajuste.

As médias diárias das capacidades operacionais e específicas da centrífuga I registradas para as diferentes rotações estão apresentadas nos Quadros 7 e 8, respectivamente. As médias totais das referidas capacidades estão representadas nas Figuras 20 e 21.

Quadro 7 - Capacidades operacionais de centrifugação para diferentes rotações – Centrífuga I

Ensaio	Rotações (rpm)					
	300	400	500	600	700	800
1	413,70	467,88	544,08	616,26	658,80	755,52
2	387,12	533,64	666,48	745,50	898,08	948,00
3	278,16	361,20	379,26	375,24	340,02	382,50
4	424,98	527,58	527,58	546,42	493,56	510,00
5	413,64	496,08	515,22	584,64	530,64	488,64
6	436,50	470,76	486,78	533,16	511,26	437,16
7	287,46	393,24	393,24	383,52	376,86	368,34
8	333,54	515,28	490,38	492,36	492,36	425,52
Médias	371,89	470,71	500,38	534,64	537,70	539,46
DP ( $\sigma$ )	63,36	63,05	90,15	121,77	174,94	205,08
CV (%)	17,04	13,39	18,02	22,78	32,53	38,01

Quadro 8 - Capacidades específicas de centrifugação para diferentes rotações – Centrífuga I

Ensaio	Rotações (rpm)					
	300	400	500	600	700	800
1	1407,14	1591,43	1850,61	2096,12	2240,82	2569,80
2	1316,73	1815,10	2266,94	2535,71	3054,69	3224,49
3	946,12	1228,57	1290,00	1276,33	1156,53	1301,02
4	1445,51	1794,49	1794,49	1858,57	1678,78	1734,69
5	1406,94	1687,35	1752,45	1988,57	1804,90	1662,04
6	1484,69	1601,22	1655,71	1813,47	1738,98	1486,94
7	977,75	1337,55	1337,55	1304,49	1281,84	1252,86
8	1134,49	1752,65	1667,96	1674,69	1674,69	1447,35
Médias	1264,92	1601,04	1701,96	1818,49	1828,90	1834,90
DP ( $\sigma$ )	215,51	214,45	306,64	414,19	595,05	697,55
CV (%)	17,04	13,39	18,07	22,78	32,53	38,01

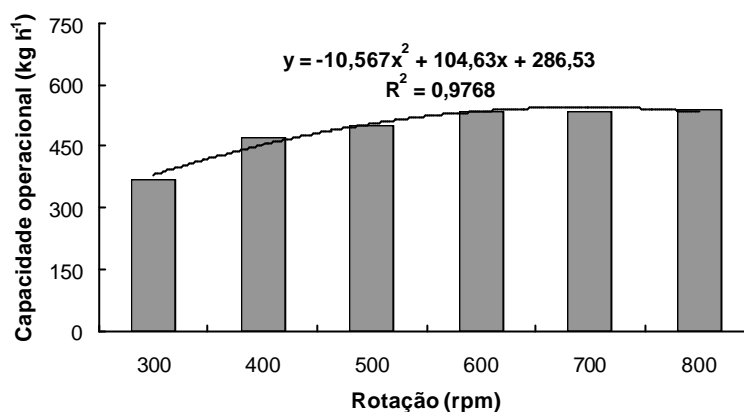


Figura 20 - Capacidades operacionais médias de centrifugação do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas – Centrífuga I.

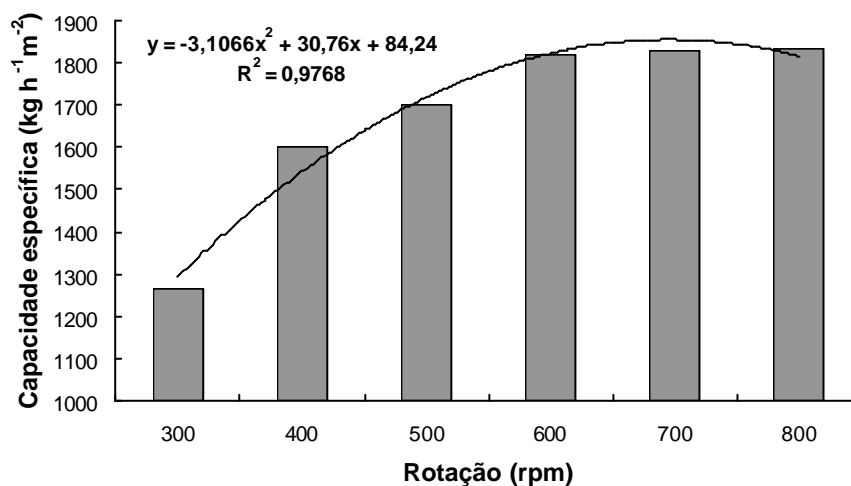


Figura 21 - Capacidades específicas médias de centrifugação do café cereja desmucilado para as diferentes rotações testadas – Centrífuga I.

De acordo com os resultados apresentados nos Quadros 7 e 8 e nas Figuras 20 e 21 pode-se observar que a capacidade da centrífuga tende a aumentar quando aumenta-se a rotação. Porém, para rotações mais altas (600,

700 e 800 rpm) os dados apresentam valores muito próximos, não caracterizando uma diferença entre os tratamentos.

Também neste caso, o modelo ajustado aos dados foi o polinomial de 2º ordem com bom coeficiente de ajuste.

Com os testes realizados e os resultados obtidos e apresentados anteriormente conclui-se que de maneira geral as melhores velocidades de centrifugação para a centrífuga I são as de 500 e 600 rpm. A velocidade de 300 rpm apresenta menor eficiência na retirada de água (Figuras 15 e 16), além de representar uma capacidade inferior quando comparadas com as capacidades obtidas para as demais rotações (Figuras 20 e 21). As velocidades de rotação mais altas testadas 700 e 800 rpm, além de apresentarem uma PGD do produto mais elevada, não apresentam resultados significativamente superiores na retirada de água do mesmo, que é o objetivo da centrífuga em questão.

#### **4.2. Centrífuga II**

Os valores médios dos teores de umidade obtidos como resultado dos testes de centrifugação realizados durante a primeira quinzena de agosto/2002 com café cereja desmucilado proveniente da Fazenda da Pedra Redonda, para as diferentes rotações e tempos de centrifugação testados, estão apresentados no Quadro 9. Os valores médios dos teores de umidade obtidos durante a segunda quinzena de agosto/2002 para o café bóia, estão apresentados no Quadro 10.

As perdas de água em porcentagem sofrida pelo produto ao passar pelo processo de centrifugação, para os diferentes tipos de café, rotações e tempos de centrifugação testados apresentam-se nos Quadros 11 e 12, respectivamente.

Quadro 9 - Teores de umidade do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga II

Ensaio	Testemunha	Rotações (rpm) X Tempo de centrifugação (s)								
		300-30	300-45	300-60	400-30	400-45	400-60	500-30	500-45	500-60
1	60,04	59,66	58,52	58,49	58,45	57,72	57,24	57,92	57,71	56,95
2	59,97	58,88	58,64	57,88	58,43	57,69	56,91	57,84	57,18	56,58
3	59,16	58,41	58,51	58,49	57,45	57,45	57,18	57,63	56,58	56,61
4	59,82	57,62	57,17	56,46	58,12	58,15	57,7	57,13	57,16	56,49
5	58,61	55,65	55,18	55,11	55,85	55,08	54,74	55,83	55,57	55,00
6	57,67	56,97	56,02	55,83	56,41	55,75	55,70	55,95	55,81	55,83
Médias	59,21	57,86	57,34	57,04	57,45	56,97	56,58	57,05	56,67	56,24
DP ( $\sigma$ )	0,93	1,44	1,47	1,44	1,10	1,25	1,12	0,94	0,84	0,71
CV (%)	1,58	2,48	2,57	2,53	1,91	2,19	1,99	1,65	1,48	1,26

Quadro 10 - Teores de umidade do café bóia submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga II

Ensaio	Testemunha	Rotações (rpm) X Tempo de centrifugação (s)								
		300-30	300-45	300-60	400-30	400-45	400-60	500-30	500-45	500-60
1	48,68	45,28	44,31	43,83	44,15	43,68	42,40	45,80	44,74	44,14
2	44,13	42,63	40,70	40,06	42,78	42,20	39,30	40,91	40,22	40,60
3	43,35	41,77	41,72	41,66	42,27	41,60	39,97	43,12	42,99	42,00
4	44,64	42,95	42,44	40,99	39,62	37,57	38,83	40,74	40,53	38,24
5	35,17	32,13	31,98	31,96	33,45	32,45	32,81	33,50	31,96	31,43
6	35,83	32,92	32,79	31,82	31,59	31,60	31,67	31,97	31,82	31,16
Médias	41,97	39,61	38,99	38,39	38,98	38,18	37,50	39,34	38,71	37,93
DP ( $\sigma$ )	5,34	5,62	5,26	5,18	5,24	5,19	4,27	5,46	5,54	5,48
CV (%)	12,73	14,18	13,48	13,50	13,46	13,59	11,38	13,87	14,30	14,46

Quadro 11 - Perda de água (%) do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga II

Ensaio	Rotações (rpm) X Tempo de centrifugação (s)								
	300-30	300-45	300-60	400-30	400-45	400-60	500-30	500-45	500-60
1	0,94	3,66	3,73	3,83	5,49	6,55	5,04	5,51	7,18
2	2,65	3,22	4,96	3,70	5,39	7,10	5,05	6,52	7,81
3	1,80	1,57	1,61	4,02	4,02	4,62	3,61	5,94	5,88
4	5,19	6,19	7,72	4,06	3,99	5,01	6,27	6,21	7,65
5	6,67	7,65	7,80	6,25	7,86	8,55	6,29	6,84	8,02
6	1,63	3,75	4,17	2,89	4,34	4,45	3,90	4,21	4,17
Médias	3,15	4,34	4,99	4,12	5,18	6,05	5,03	5,87	6,78
DP ( $\sigma$ )	2,27	2,20	2,41	1,12	1,47	1,63	1,14	0,93	1,49
CV (%)	72,22	50,64	48,16	27,27	28,35	26,96	22,54	15,92	22,03

Quadro 12 - Perda de água (%) do café bóia submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga II

Ensaio	Rotações (rpm) X Tempo de centrifugação (s)								
	300-30	300-45	300-60	400-30	400-45	400-60	500-30	500-45	500-60
1	6,21	7,85	8,63	8,11	8,88	10,90	5,31	7,13	8,13
2	2,61	5,78	6,79	2,36	3,34	7,96	5,45	6,54	5,94
3	2,71	2,80	2,90	1,87	3,00	5,63	0,40	0,63	2,33
4	2,96	3,82	6,19	8,31	11,32	9,50	6,58	6,91	10,36
5	4,48	4,69	4,72	2,58	4,03	3,51	2,51	4,72	5,45
6	4,34	4,52	5,88	6,20	6,18	6,09	5,67	5,88	6,78
Médias	3,89	4,91	5,85	4,91	6,12	7,26	4,32	5,30	6,50
DP ( $\sigma$ )	1,40	1,74	1,94	2,99	3,36	2,71	2,36	2,45	2,70
CV (%)	36,05	35,55	33,10	60,90	54,92	37,36	54,56	46,16	41,55

Verifica-se com os resultados apresentados nos Quadros 9, 10, 11 e 12 que os valores de teor de umidade para as diferentes rotações testadas com a centrífuga II, da mesma forma que aconteceu com a centrífuga I, apresentaram valores muito parecidos entre os tratamentos. Quanto à uniformidade dos dados, nos testes realizados com café cereja desmucilado os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação apresentaram-se menores que os obtidos para café bóia, o que era de se esperar, pois, com a retirada da casca, e da mucilagem o produto fica mais homogêneo.

A Figura 22 apresenta as perdas de água em porcentagem do café cereja desmucilado para os diferentes tempos de centrifugação e para as diferentes rotações testadas.

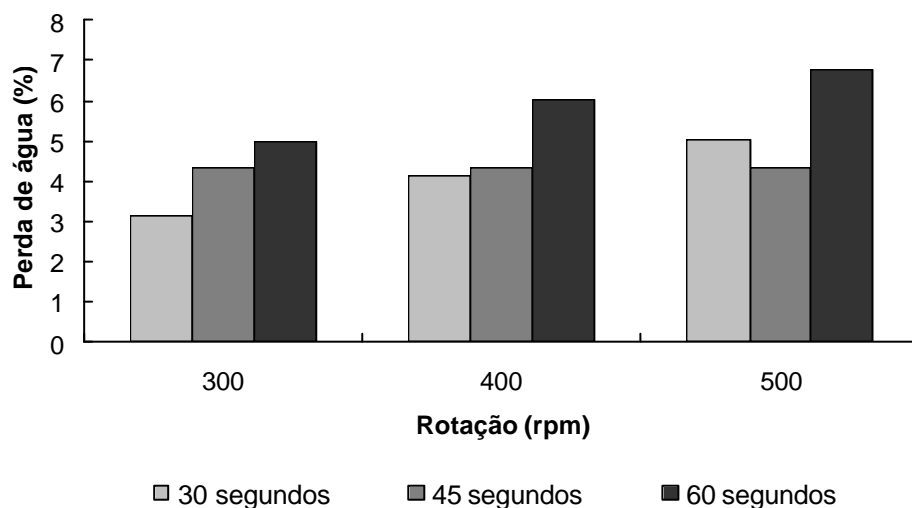


Figura 22 - Perda de água (%) do café cereja desmucilado submetido ao processo de centrifugação por diferentes tempos e rotações – Centrífuga II.

Na Figura 22, verifica-se que para todos os tempos de centrifugação testados, ocorreu um aumento na perda de água do café conforme se aumenta a rotação, porém com valores muito próximos, entre os tratamentos.

Considerando o tempo de centrifugação, observa-se que, quanto maior o tempo de centrifugação maior é a quantidade de água retirada do produto. Da mesma forma que acontece com a rotação, o tempo de centrifugação

apresenta resultados crescentes de perda de água do café conforme se aumenta este tempo.

A Figura 23 representa as perdas de água em porcentagem do café bóia para os diferentes tempos de centrifugação e diferentes rotações testadas.

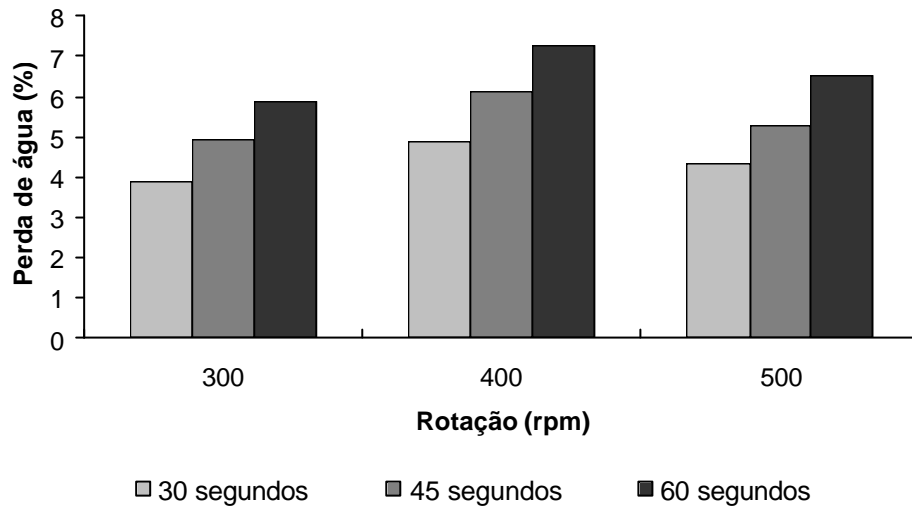


Figura 23 - Perda de água (%) do café bóia submetido ao processo de centrifugação por diferentes tempos e rotações – Centrífuga II.

Considerando os testes realizados com café bóia, observou-se que as quantidades de água retiradas do produto considerando as diferentes rotações testadas, não seguem a tendência linear observada nas Figuras obtidas para café cereja desmucilado, neste caso, os maiores valores de perdas de água em porcentagem foram observados para a velocidade de rotação de 400 rpm. A tendência linear nos dados observados para café cereja desmucilado considerando os diferentes tempos de centrifugação testados foi também observada nos testes com café bóia (Figura 23), comprovando que quanto maior o tempo de centrifugação melhor é o resultado obtido, ou seja, maior é a quantidade de água retirada do produto.

Os resultados de teores de umidade apresentados no Quadro 13 são resultantes dos testes realizados com café em coco que depois de seco e armazenado foi novamente molhado para realização dos devidos ensaios. O referido produto encontrava-se com teor de umidade média inicial de 13,30%

b.u. Tal café após ficar em um tanque com água por um tempo pré-determinado foi centrifugado durante um período de 30 s.

Quadro 13 - Teores de umidade do café molhado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações – Centrífuga II

Tempo de molhamento (h)	Testemunha	Rotações (rpm)		
		300	400	500
1	45,66	43,18	41,91	39,57
		42,69	41,24	39,49
		43,16	41,37	39,90
		Médias	43,01	41,51
	DP ( $\sigma$ )	0,28	0,35	0,22
	CV (%)	0,64	0,85	0,55
2	45,87	43,60	42,64	42,76
		43,29	42,62	43,15
		43,69	43,12	43,02
		Médias	43,53	42,79
	DP ( $\sigma$ )	0,21	0,28	0,20
	CV (%)	0,48	0,66	0,46
3	45,05	42,20	42,22	41,93
		42,19	42,53	42,47
		43,83	42,37	41,88
		Médias	42,74	42,37
	DP ( $\sigma$ )	0,94	0,15	0,33
	CV (%)	2,21	0,36	0,78

As perdas de água em porcentagem do produto ao passar pelo processo de centrifugação, para as diferentes rotações testadas e tempo de centrifugação de 30 s estão apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 - Perda de água (%) do café molhado submetido ao processo de centrifugação - Centrífuga II

Tempo de molhamento (h)		Rotações (rpm)		
		300	400	500
1		4,36	6,46	10,08
		5,18	7,52	10,20
		4,40	7,32	9,58
	Médias	4,65	7,10	9,95
	DP ( $\sigma$ )	0,46	0,56	0,32
	CV (%)	9,95	7,97	3,26
2		4,02	5,63	5,43
		4,55	5,66	4,78
		3,87	4,83	5,00
	Médias	4,15	5,38	5,07
	DP ( $\sigma$ )	0,35	0,47	0,33
	CV (%)	8,57	8,73	6,51
3		4,93	4,90	5,37
		4,95	4,38	4,48
		2,17	4,65	5,45
	Médias	4,02	4,64	5,10
	DP ( $\sigma$ )	1,60	0,25	0,54
	CV (%)	39,77	5,52	10,54

A Figura 24 apresenta os valores das perdas de água em porcentagem do café molhado para os três diferentes tempos de molhamento considerados (1, 2 e 3 horas) e para as diferentes rotações testadas.

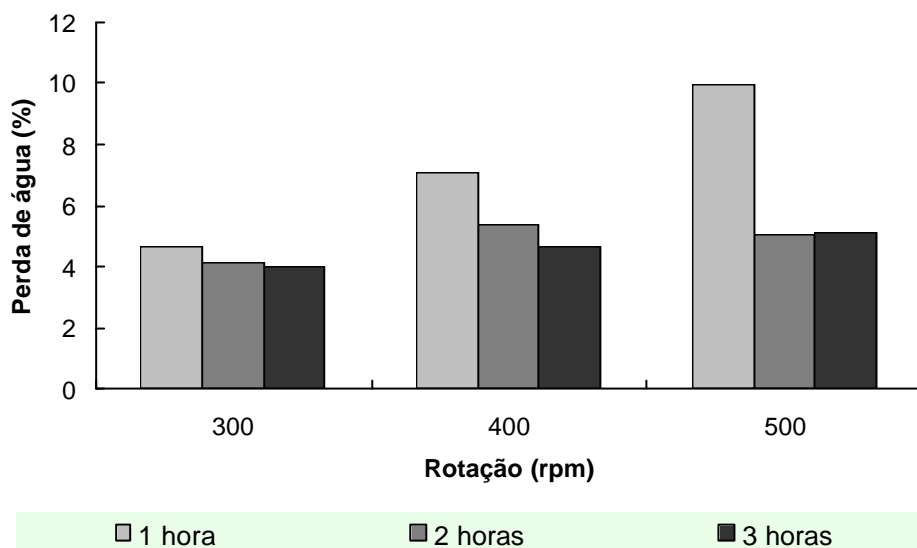


Figura 24 - Perda de água (%) do café molhado submetido ao processo de centrifugação – Centrífuga II.

De acordo com os resultados apresentados nos Quadros 13 e 14 e representados na Figura 24, pode-se verificar, novamente que os valores obtidos para as diferentes rotações são muito parecidos com pequenas diferenças entre si, principalmente quando os tempos de molhamento do café foram de 2 e 3 horas. Para o tempo de molhamento do café de 1 hora observa-se que a quantidade de água retirada do produto, de forma geral, foi maior que a quantidade retirada para os tempos de molhamento de 2 e 3 horas, neste caso a rotação que mostrou-se mais eficiente foi a de 500 rpm. Para o tempo de 1 hora observa-se também que as diferenças entre os valores da perda de água em porcentagem do café, considerando as diferentes rotações testadas são maiores, caracterizando que quanto maior a velocidade de rotação, melhor é o resultado obtido.

Os valores obtidos para a massa específica do café molhado e sua representação estão demonstrados no Quadro 15 e na Figura 25, respectivamente.

Quadro 15 - Massa específica do café molhado submetido ao processo de centrifugação, para diferentes rotações - Centrífuga II

Tempo de molhamento (h)	Testemunha	Rotações (rpm)		
		300	400	500
1	423,6	420,0	411,4	393,0
		408,9	400,8	401,0
		404,9	407,2	391,5
		Médias	411,27	406,47
	DP ( $\sigma$ )	7,82	5,34	5,12
	CV (%)	1,90	1,31	1,29
2	439,0	430,1	417,4	416,5
		417,6	405,0	407,2
		413,6	404,9	398,8
		Médias	420,43	409,10
	DP ( $\sigma$ )	8,61	7,19	8,85
	CV (%)	2,05	1,76	2,17
3	438,8	408,2	407,5	408,6
		412,3	404,2	407,1
		410,3	403,4	400,5
		Médias	410,27	405,03
	DP ( $\sigma$ )	2,05	2,17	4,31
	CV (%)	0,50	0,54	1,06

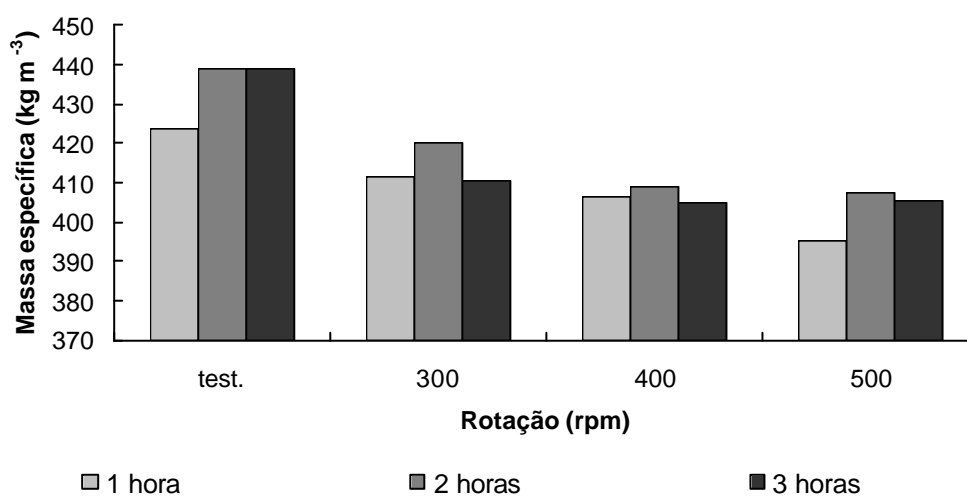


Figura 25 - Massa específica do café molhado ao processo de centrifugação – Centrífuga II.

De acordo com resultados apresentados, observa-se que para o tempo de molhamento de 2 e 3 horas os valores obtidos para a massa específica considerando as diferentes rotações testadas apresentam-se mais próximos entre si. Neste caso, observa-se na Figura 25 que, para a rotação de 300 rpm a, massa específica apresenta maiores valores que para as demais rotações

testadas. Os valores obtidos ficam mais representativos quando comparados à testemunha, neste caso, observa-se uma diferença mais significativa, que justifica a utilização do processo de centrifugação do café.

Os resultados dos teores de umidade registrados durante a secagem do café centrifugado com a centrífuga II a 500 rpm durante 30 s, bem como do café testemunha (sem centrifugar), estão demonstrados no Quadro 16.

Com os valores apresentados no Quadro 16, obteve-se as curvas de secagem demonstradas na Figura 26, na qual pode-se observar que o processo de centrifugação apresenta-se bastante eficiente quando levado em consideração o objetivo proposto de reduzir o teor de umidade inicial do produto.

Quadro 16 - Teores de umidade do café coletado em diferentes horários para determinação das curvas de secagem comparativas entre o café centrifugado e o não centrifugado

Dias de secagem	Horário da coleta de amostras	Teores de umidade (% b.u.)	
		Café s/centrifugar	Café centrifugado
Primeiro	11:00	52,2	48,4
	13:00	47,3	42,0
	15:00	39,8	31,0
	17:00	33,3	30,3
	19:00	31,5	22,0
Segundo	08:30	31,1	20,5
	10:30	24,6	20,0
	12:30	21,0	16,7
	14:30	19,9	15,3
	16:30	20,5	15,8
	18:30	17,8	14,9
Terceiro	10:30	16,6	14,7
	12:30	15,5	14,2
	14:30	15,3	13,9
	16:30	14,9	13,8
	18:30	14,6	13,8

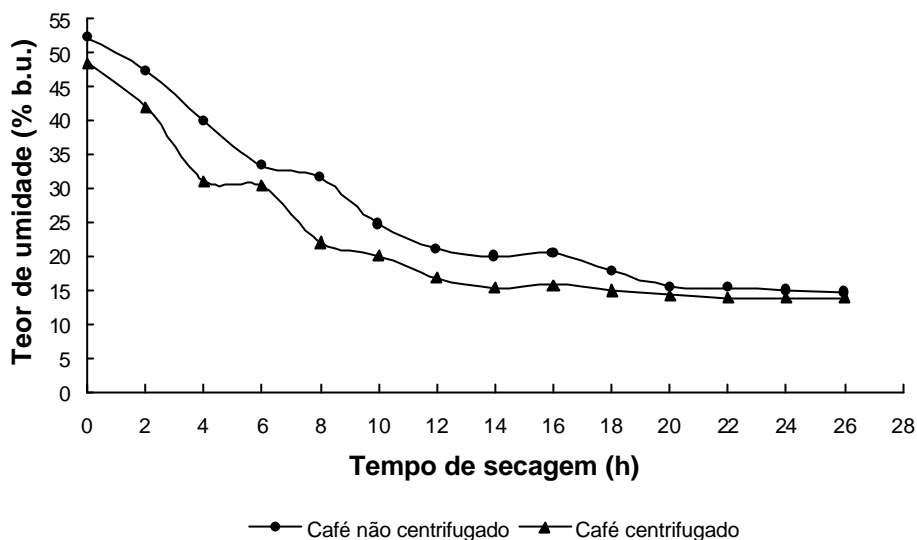


Figura 26 - Curva de secagem, para café molhado não centrifugado e centrifugado com velocidade de rotação de 500 rpm durante 30 s – Centrífuga II.

Nas curvas de secagem apresentadas na Figura 26, verifica-se que durante todo o processo de secagem do café, ocorreu uma diferença entre os teores de umidade do café centrifugado para o não centrifugado. Este fator pode ser muito importante quando, se trata da conservação das propriedades qualitativas do produto, pois a redução do teor de umidade, no início do processo, pode evitar o risco de fermentações indesejáveis que podem ocasionar a deterioração do produto, comprometendo sua qualidade, principalmente em regiões, onde a secagem dependendo da época do ano é um processo lento devido às condições climáticas locais (caso da zona da mata mineira).

### 4.3. Análise de custo

O levantamento do material utilizado para construção das duas centrífugas está apresentado nos apêndices A e B, respectivamente.

O custo do material e da mão-de-obra, dispendidos na construção das centrífugas I e II, estão apresentadas no Quadro 17. Considerando o material,

a mão-de-obra e o projeto das centrífugas, estimou-se o preço de cada uma delas.

Quadro 17 - Custo do material e da mão-de-obra dispendidos na construção das centrífugas I e II

<b>Material e mão-de-obra</b>	<b>valor R\$</b>
Material utilizado na construção da centrífuga I (sem motor)	250,00
Material utilizado na construção da centrífuga II (sem motor)	300,00
Motor elétrico trifásico de 2 cv e 1750 rpm	262,00
Mão-de-obra - Centrífuga I	500,00
Mão-de-obra – Centrífuga II	350,00
Serviço de torno (por hora)	35,00

Para a centrífuga I o preço estimado foi de R\$ 1.600,00 e para a centrífuga II foi R\$ 1.900,00.

De posse do custo de aquisição de cada uma das centrífugas obteve-se a depreciação anual, que foi de R\$ 180,00 para a centrífuga I e de R\$ 213,75 para a centrífuga II, respectivamente. Considerando que as centrífugas trabalhariam 12 horas por dia durante 60 dias por ano, têm-se 720 horas anuais de trabalho. Portanto a depreciação horária é de R\$ 0,25 para a centrífuga I e de R\$ 0,30 para a centrífuga II.

Para análise dos custos variáveis, estipulou-se uma taxa de manutenção de 5% ao ano de acordo com TEIXEIRA et al (1999). A taxa de manutenção horária para a centrífuga I foi de R\$ 0,11 e para a centrífuga II foi de R\$ 0,13.

O consumo de energia elétrica, considerando um motor de 2 cv e 720 horas de trabalho de cada uma das centrífugas por ano foi estimado em 1059 kWh ano<sup>-1</sup>. Considerando a tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária local (CEMIG) e apresentada no apêndice C, para consumidor rural convencional (B2 – rural normal), o valor do kWh já adicionado o valor do imposto (ICMS) é de R\$ 0,222. Portanto o custo total de energia elétrica anual para cada uma das centrífugas foi estimado em R\$ 235,10.

Os parâmetros considerados para o cálculo da depreciação, da taxa de manutenção e do consumo de energia elétrica, bem como, o resultado obtido para os mesmos, estão apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 - Parâmetros considerados para cálculo da depreciação, de manutenção e do consumo de energia elétrica das centrífugas e valor obtido para os mesmos

<b>Parâmetro</b>	<b>Centrífuga I</b>	<b>Centrífuga II</b>
Custo de aquisição, R\$	1.600,00	1.900,00
Horas trabalhadas, h ano <sup>-1</sup>	720	720
Valor de sucata, R\$	160,00	190,00
Vida útil, anos	8	8
Taxa de manutenção, % anual	5	5
Consumo de energia elétrica kWh ano <sup>-1</sup>	1.059	1.059
Tarifa de energia elétrica com ICMS, R\$	0,222	0,222
Depreciação horária, R\$	0,25	0,30
Manutenção horária, R\$	0,11	0,13
Custo da energia elétrica, R\$ h <sup>-1</sup>	0,33	0,33
<b>Custo final</b>	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido no setor de pré-processamento de produtos vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola e em duas propriedades cafeeiras da região de Viçosa-MG.

Foi avaliado o processo de centrifugação para retirada da água superficial do café utilizando para tanto duas diferentes centrífugas, desenvolvidas no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Para a avaliação conduziram-se testes de centrifugação com a centrífuga I, utilizando café cereja desmucilado e seis diferentes rotações (300, 400, 500, 600, 700 e 800 rpm). Os parâmetros observados foram teor de umidade, massa específica, porcentagem de grãos danificados e capacidade da centrífuga. Para os testes com a centrífuga II, utilizou-se café cereja desmucilado, café bóia e café seco posteriormente molhado durante 1, 2 e 3 horas com rotações de 300, 400 e 500 rpm e tempos de centrifugação de 30, 45 e 60 segundos.

Com base nos resultados obtidos nos testes e, levando-se em consideração os parâmetros verificados, pode-se concluir que:

- O processo de centrifugação contribui para a remoção da água superficial do café.
- Para as duas centrífugas testadas a rotação que apresentou menor eficiência na retirada de água do café foi a de 300 rpm.

- Para a centrífuga I, as melhores rotações para remoção da água superficial do café, foram as de 500 e 600 rpm.
- Para a centrífuga II a melhor velocidade de rotação para remoção da água superficial do café foi a de 500 rpm.

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Realizar modificações na centrífuga I de modo que a mesma possa ser testada também para café descascado e café natural.
- Balanceamento dinâmico de ambas centrífugas utilizadas, de modo que possam ser testadas velocidades de rotação mais elevadas.
- Realizar testes com um número maior de repetições de modo a reduzir o coeficiente de variação dos dados nos tratamentos.
- Realizar depois do processo de centrifugação, testes de secagem comparativos entre o produto centrifugado e não centrifugado, para avaliação do benefício do processo no tempo total da secagem.
- Realizar testes de avaliação da qualidade do café centrifugado, de modo a verificar, por exemplo, se ocorre uma menor proliferação de fungos e uma menor possibilidade de deterioração do café no início do processo de secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMIRANTE, R.; CATALANO, P. Fluid dynamic analysis of the solid-liquid separation process by centrifugation. **Journal Agricultural Engineering Research**, vol. 77, nº 2, p. 193-201, 2000.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. **Coffee Business**, Rio de Janeiro, 2000/2001.
- ARAÚJO, J.L.S. **Curso de classificação e degustação de café**. Brasília: MARA-PROCAFÉ, 1996. 64 p.
- 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.
- BEVERIDGE, T.; HARRISON, J. E. Juice extraction with the decanter centrifuge: sweet and sour cherries, peaches and apricots. **Food Research International**, vol. 28, nº 2, p. 173-177, 1995.
- BITANCOURT, A.A. As fermentações e podridões da cereja de café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**. São Paulo, v.32, n.359, p. 7-14, 1957.
- 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, 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.
- 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.
- EFEI. Aplicação de sistemas centrífugos em operações “de-watering”. **Projeto SEPCEN**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá/Fundação de Pesquisa e Acessória a Indústria/Petrobrás. Itajubá-MG, 2000.
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FAEMG. **Diagnóstico da cafeicultura em Minas Gerais**. Belo Horizonte-MG: 1996. 52 p. (Relatório de Pesquisa).
- FERNANDES, H.C.; REIS, E.F. **Custos operacionais de máquinas agrícolas**. Apostila do curso oferecido na 74<sup>a</sup> Semana do Fazendeiro. Viçosa – MG. 2003.
- FOUST, A.S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C.W.; MAUS L.; ANDERSEN, L.B. **Princípios das operações unitárias**. 2<sup>o</sup> edição. Guanabara dois, Rio de Janeiro. 1982.
- GOMIDE, R. **Operações Unitárias**. 3<sup>o</sup> volume: Separações Mecânicas. Edição do autor. São Paulo, 1980.
- GUARÇONI, R.C. **Efeito da temperatura de secagem e da percentagem de frutos verdes na qualidade do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehmer)**. Viçosa-MG: UFV, 1995. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.

- HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. **Agricultural process engineering**. 3ª edição, 442 p. 1976.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1977. 36 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. 5.ed. Rio de Janeiro: 1985. 580 p.
- KINCH, D.M. A continuous-process centrifuge. **Transactions of the ASAE**. p. 52-57. 1959.
- LEONE, G.G. **Custos: Um enfoque administrativo**. v. 1, 14ª edição. FGV editora. 506 p. Rio de Janeiro, 2001.
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 5ª edição. Editora Atlas, 381 p. São Paulo, 1996.
- MATIELLO, J.B. Cafés de qualidade: Fatores que facilitam sua produção. **Anuário estatístico do café**. Coffee Business, 2000/2001.
- McCABE, W.L.; SMITH, J.C. **Unit operations of chemical engineering**. 3ª edição. McGraw Hill. 1028 p. 1976.
- MERIAM, J.L. **Dinâmica**. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro-RJ. 1976, 508p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA/EMBRAPA. **Relatório da estimativa da safra cafeeira no Brasil, safra 2003/2004**. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - Embrapa. 4p. 2002.
- MORICOCCHI, L.; MARTIN, N.B.; VEGRO, C.L.R. Políticas de intervenção no mercado de café. **Anuário estatístico do café**. Coffee Business, 2000/2001.
- MYERS, A. L.; MONROE, G.E. Centrifuge for coffee bean surface water removal. **Transactions of the ASAE**. vol. 15, nº 2, p. 308-309. 1972.
- PARK, J. K. Vertical rotating screens for separating seeds from trashy materials. **Transactions of the ASAE**. vol., nº, p. 606-610. 1974.
- PEREIRA, J. A. M.; QUEIROZ, D. M. **Higroscopia**. Apostila – CENTREINAR, Viçosa – MG, 1987.
- PIMENTA, C.J.; CHALFOUN, S.M. Composição microbiana associada ao café em coco e beneficiado colhido em diferentes estágios de maturação. In: **Ciência Agrotécnica**, vol. 25, n.3, p. 677-682. Lavras – MG, 2001.

- 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.
- SILVA, J.S., DONZELES, S.M.L., AFONSO, A.D.L. Qualidade dos grãos. In: SILVA, J.S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora-MG: Instituto Maria, 1995. p. 55-104.
- 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.
- TEIXEIRA, M.M.; PINTO, F.A.C.; SILVEIRA, S.F. **Custos operacionais das máquinas agrícolas**. Engenharia na Agricultura: Caderno didático 29, Universidade federal de Viçosa, 1999.
- 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 A - Material utilizado na construção da Centrífuga I

---

<b>Materiais</b>	
-	1,5 m <sup>2</sup> de chapa preta nº 20
-	0,6 m <sup>2</sup> de chapa perfurada, com furos redondos de 4,5 mm
-	1,7 m de cantoneira ¾"
-	7,8 m de cantoneira 1 ¼" x ¼"
-	7,2 m de aço doce liso ½"
-	0,7 m de helicóide
-	2 buchas de bronze de 30 mm
-	2 flanges de acoplamento 100 mm x 13 mm
-	1 mancal com rolamento auto compensador F 206
-	4 espessadores ½"
-	1 polia canal perfil B 300 mm
-	1 polia canal perfil B 100 mm
-	4 polias planas 175 mm
-	2 correias perfil B 52 mm
-	12 parafusos 3/8" x 1 ½" com porca
-	8 parafusos 5/16" x ½" com porca
-	4 parafusos 7/16" x 2 ¾" com porca
-	4 parafusos 3/16" x ¾" com porca
-	1,5 litros de tinta verde martelada
-	1 litro de tinner
-	1 motor elétrico trifásico de 2 cv

---

## Apêndice B

### Quadro B- Material utilizado na construção da Centrífuga II

---

#### Materiais

---

- 2 chapas preta nº 16 (1m x 2m)
  - 1,5 m<sup>2</sup> de chapa perfurada, com furos redondos de 5 mm
  - 12,2 m de cantoneira 2 ½"
  - 2,0 m de cantoneira 1 ¼"
  - 3,2 m de cantoneira 1"
  - 2 mancais de 1"
  - 1,8 m de aço doce liso 1"
  - 1,5 m de aço doce liso de ½"
  - 3 buchas de 50 mm
  - 1 polia canal perfil B 180 mm
  - 1 correia B 68
  - 16 parafusos ½" x 1" com porca
  - 10 parafusos 5 1/16" com porca
  - 1 motor elétrico trifásico de 2 cv
-

## Apêndice C

Quadro C - Tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária local (CEMIG) para consumidor rural convencional (B2 – rural normal)

CONVENCIONAL	Resolução nº 165, 07/04/2003		
	TARIFAS SEM ICMS R\$/kWh	TARIFAS COM ICMS R\$/kWh	% ICMS
	A	B	B/A
<b>B2 - RURAL</b>			
R\$ / kWh	0,182030	0,222000	18,00%