

ROBERTA JIMENEZ DE ALMEIDA RIGUEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ PROCESSADO POR VIA
ÚMIDA, DURANTE AS OPERAÇÕES DE SECAGEM E
ARMAZENAGEM

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

ROBERTA JIMENEZ DE ALMEIDA RIGUEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CAFÉ PROCESSADO POR VIA
ÚMIDA, DURANTE AS OPERAÇÕES DE SECAGEM E
ARMAZENAGEM

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

APROVADA: 29 de agosto de 2005.

Dr. Onkar dev Dhingra
(Conselheiro)

Dr. Francisco de Assis de Carvalho Pinto

Dr. Luis Miguel Cárcel Cárcel

Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzelles

Dr. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Orientador)

Ofereço aos meus pais,

José Luiz e Jodnéa,

por mais uma vitória.

E ao meu marido *Evandro*.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que tens feito e por tudo virás a fazer.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade e acolhida.

À Embrapa – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

Ao professor Adílio, pela orientação, confiança e amizade.

Aos Conselheiros Antônio Teixeira de Matos, Juarez de Sousa e Silva, Onkar dev Dhingra, Paulo Roberto Cecon, pelas sugestões e orientações.

Ao pesquisador Dr. Luis Miguel Cárcel Cárcel, pela contribuição e participação.

Ao professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto, pela colaboração e sugestões.

Ao pesquisador da EPAMIG Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzeles, pelas sugestões no decorrer e no final deste trabalho.

Ao proprietário e ao administrador da Fazenda Morro dos Padeiros, que por intermédio do Prof. Adílio, concedeu o local, estrutura e apoio técnico, que tornaram este trabalho possível.

A Cafeteira Incofex pela realização das análises sensoriais.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola que direta ou indiretamente participaram da execução deste trabalho. A todos aqueles que vieram a participar, de uma forma ou outra, na realização deste trabalho.

O meu AGRADECIMENTO a todos aqueles que me auxiliaram e estiveram presentes durante a execução deste trabalho.

BIOGRAFIA

ROBERTA JIMENEZ DE ALMEIDA RIGUEIRA, filha de José Luiz de Almeida e de Jodnéa Jimenez de Almeida, nasceu na cidade de São Paulo, Estado de São Paulo, em 31 de outubro de 1971.

Em julho de 1996 graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras, MG.

Em julho de 1999 concluiu o mestrado em Ciência dos Alimentos, na área de Engenharia de Alimentos, pela Universidade Federal de Lavras, iniciado em abril de 1997.

Em abril de 2001 iniciou o doutorado em Engenharia Agrícola, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Preparo e processamento dos frutos do cafeeiro.....	4
2.2 Características da água residuária gerada na produção do fruto do cafeeiro lavado despolpado.....	5
2.3 Equilíbrio higroscópico.....	7
2.4 Processo de secagem.....	9
2.4.1 Secagem de café.....	9
2.5 Armazenamento do café.....	12
2.6 Qualidade do café.....	12
2.6.1 Quanto à classificação e tipo.....	12
2.6.2 Quanto à cor.....	14
2.7 Contaminação por microrganismos.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 Condições gerais.....	24
3.2 Análise da água residuária gerada na produção do fruto do cafeeiro lavado e despolpado.....	27
3.3 Processo de secagem.....	28
3.4 Armazenamento do café.....	29
3.5 Teor de água dos grãos e umidade e temperatura do ar ambiente.....	30
3.6 Equilíbrio higroscópico.....	30
3.7 Classificação.....	31
3.7.1 Prova de xícara (análise sensorial).....	31
3.7.2 Quanto ao tipo.....	32
3.8 Análise de cor.....	33
3.9 Contaminação por microrganismos.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Caracterização física, química e bioquímica da água no processo de lavagem, despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro.....	35
4.2 Armazenamento do café.....	41
4.3 Equilíbrio higroscópico.....	42
4.4 Classificação.....	45
4.4.1 Quanto ao tipo.....	45
4.4.2 Quanto à prova de xícara.....	48
4.5 Avaliação do café quanto à cor.....	50
4.6 Avaliação do café quanto à incidência de microrganismos.....	52
5. CONCLUSÕES.....	56
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Divisão do armazém para a segregação de lotes e blocos.....	12
Figura 2	Sólido de Hunter.....	19
Figura 3	Descrição do ângulo de matiz (hue) e índice de saturação no diagrama do sistema Hunter L, a, b, no plano a-b (McLELLAN et al., 1995).....	20
Figura 4	Planta de processamento de café. Fazenda Morro dos Padeiros. São Miguel do Anta – MG.....	24
Figura 5	(a) sacos de café cobertos com lona plástica; (b) sem cobertura plástica.....	25
Figura 6	Valores médios observados experimentalmente, no interior do armazém, no decorrer dos meses de agosto a dezembro de 2004.....	41
Figura 7	Teor de água dos grãos (% b.u.) dos testes experimentais A1 a F1, no decorrer de 135 dias de armazenamento.....	41
Figura 8	Teor de água dos grãos (% b.u.) dos testes experimentais A2 a F2, no decorrer de 135 dias de armazenamento.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro arábica	6
Tabela 2	Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon	6
Tabela 3	Número total de dias de secagem, para os testes experimentais de A a F, considerando as condições: completa com luz, completa sem luz, meia-seca com luz, meia-seca sem luz, secador de leito fixo, em leira, e silo secador	29
Tabela 4	Disposição dos sacos café, em pergaminho, no armazém, em função da secagem e da cobertura com lona plástica	30
Tabela 5	Resultados das análises físicas de amostras de água residuária da lavagem dos frutos do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.)	36
Tabela 6	Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da lavagem dos frutos do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.)	36
Tabela 7	Resultados das análises físicas de amostras de água residuária do descascamento, despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.)	38
Tabela 8	Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.)	39
Tabela 9	Resultados das análises físicas de amostras de água residuária da na fase final de lavagem dos frutos do cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.)	40
Tabela 10	Resultado das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária na fase final da lavagem dos frutos de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	40
Tabela 11	Valores médios, mensais, de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) ambiente, registrado em termohigrógrafo; valores estimados de umidade de equilíbrio, umidade relativa de equilíbrio (%) e teor de água dos grãos (decimal b.s)	43
Tabela 12	Teor de água (decimal b.s.) experimental e estimado dos testes experimentais de A1 a F2 durante o período de armazenamento	43
Tabela 13	Teor de água (% b.u.) obtidos através do método direto e indireto, dos grãos de café beneficiados, armazenados em pergaminho, em sacos de rafia, em armazém convencional	44
Tabela 14	Valores médios de amostras de café beneficiado, para identificação do tipo, para os testes experimentais A1, B1, C1, D1, E1 e F1, considerando o tamanho dos grãos e a dimensão dos crivos (Peneira 17/64 (P17 - %); Peneira 16/64 (P16 - %); Peneiras 13/64 e 15/64 (P13/15 - %), fundo de peneira (%), catação (%), quebra (%), defeito (valor absoluto) e teor de água (% b.u.) durante o armazenamento	46
Tabela 15	Valores médios de amostras de café beneficiado, para identificação do tipo, para os testes experimentais A2, B2, C2, D2, E2 e F2, considerando o tamanho dos grãos e a dimensão dos crivos (Peneira 17/64 (P17 - %); Peneira 16/64 (P16 - %); Peneiras 13/64 e 15/64 (P13/15 - %), fundo de peneira (%), catação (%), quebra (%), defeito (valor absoluto) e teor de água (% b.u.) durante o armazenamento	47

Tabela 16	Tipo de café beneficiado, de acordo com o percentual de defeitos, para os testes experimentais de A1 a F2, armazenados em pergaminho, durante 135 dias	48
Tabela 17	Resumo da análise de variância dos valores obtidos através das notas atribuídas na prova de xícara, em função de diferentes condições de secagem e cobertura, avaliados em durante o armazenamento	49
Tabela 18	Equações de regressão ajustadas (\hat{Y}) para o cálculo da avaliação da qualidade de bebida do café, em função do tempo de armazenamento (T), para os respectivos testes experimentais, e coeficiente de determinação (r^2)	49
Tabela 19	Resumo da análise de variância dos valores obtidos da leitura das coordenadas L^* , matiz e croma, do sistema HUNTER de cor, para grãos beneficiados de café cereja, submetido a diferentes condições de secagem e armazenados por 135 dias	50
Tabela 20	Coefficientes da a e b da equação de regressão ajustada e coeficiente de determinação (r^2) para cálculo estimado de L^* , matiz e croma em função do tempo de armazenamento, para os testes experimentais de A1 a F2	51
Tabela 21	Número de esporos de fungos na superfície dos grãos em pergaminho, considerando os testes experimentais A1 a F1, durante o armazenamento	53
Tabela 22	Percentuais de grão (G) e pergaminho(casca) (C) colonizado por microrganismos em café, considerando dos testes experimentais A1 a F1 durante o armazenamento	53
Tabela 23	Número de esporos de fungos na superfície dos grãos em pergaminho, considerando os testes experimentais A2 a F2, durante o armazenamento	54
Tabela 24	Percentuais de grão (G) e pergaminho (casca) (C) colonizado por microrganismos em café, considerando dos testes experimentais A2 a F2 durante o armazenamento	54

RESUMO

RIGUEIRA, Roberta Jimenez de Almeida, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2005. **Avaliação da qualidade do café processado por via úmida, durante as operações e secagem e armazenagem.** Orientador: Adílio Flauzino de Lacerda Filho. Conselheiros: Antônio Teixeira de Matos, Juarez de Sousa e Silva, Onkar dev Dhingra, Paulo Roberto Cecon.

Objetivou-se com esse trabalho analisar o efeito da radiação solar sobre a qualidade do café preparado sob a forma cereja descascado, despolpado, desmucilado sob diferentes condições de secagem e armazenagem; caracterizar física, química e bioquimicamente a água residuária da lavagem, nas diferentes fases das operações unitárias de despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.); avaliar a qualidade do produto com base no sistema comercial de classificação, considerando a variação da cor no que diz respeito ao fenômeno de branqueamento dos grãos; e, avaliar, simultaneamente, a interrelação entre os processos de secagem e armazenagem, e a contaminação por microrganismos. O experimento foi montado em uma fazenda localizada no município de São Miguel do Anta, Estado de Minas Gerais. Foi utilizado café cereja, da variedade Catuaí, colhido pelo método de derriça manual sobre pano, no período entre maio e julho de 2004. O teor inicial de água dos frutos no início da colheita foi, aproximadamente, 60 % b.u., contendo, em massa, 68 % de frutos maduros, 16 % de frutos verdes e verdoengos e 16 % de frutos secados na planta. Foram processados aproximadamente 10.000 litros de frutos por dia, para um volume médio de 3,0 litros de água para cada litro de fruto, na primeira circulação e de 1,8 litros de água para cada litro de frutos, considerando a recirculação de água. Amostras de água foram coletadas antes e após a entrada dos frutos no lavador/separador mecânico, no

descascador/despulpador/desmucilador. Também foram coletadas amostras da água descartada no final do processo. Foi utilizado um experimento de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um esquema fatorial 6 x 2 e nas subparcelas quatro avaliações, com três repetições. Foram utilizadas seis condições de secagem e duas formas de cobertura dos lotes armazenados, avaliadas em quatro períodos de tempo no decorrer do armazenamento. Os elevados valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) indicaram que as águas residuárias possuíam elevada carga orgânica e, se forem lançadas em corpos hídricos receptores sem tratamento prévio, poderão ocasionar sérios problemas ambientais. A elevada concentração de sólidos totais (ST), dos quais a maior parte é composta por sólidos voláteis (SV), indicaram a necessidade de serem removidas por meio de tratamento biológico. A secagem sem exposição direta à radiação solar global proporcionou a redução do branqueamento dos grãos durante a armazenagem e produziu cafés de melhor qualidade. A seleção manual dos grãos de café pretos, verdes e ardidos, durante o processo de secagem e beneficiamento, pode contribuir para a obtenção de um produto com menor número de defeitos. Verificou-se que, tanto o surgimento de esporos de microrganismos na superfície dos grãos em pergaminho, quanto a identificação do percentual de colonização destes microrganismos na casca e no grão, não foi suficiente para infestar e comprometer a estrutura dos grãos na armazenagem. Os testes experimentais cobertos com lona plástica apresentaram melhor resultado no que se refere à bebida, coloração e incidência de microrganismos.

ABSTRACT

RIGUEIRA, Roberta Jimenez de Almeida, D.S., Universidade Federal de Viçosa, august 2005. **Evaluation of the quality of wet processed coffee during drying and storage.** Adviser: Adílio Flauzino de Lacerda Filho. Committee Members: Antônio Teixeira de Matos, Juarez de Sousa e Silva, Onkar dev Dhingra, Paulo Roberto Cecon.

The objective of this study was to analyze the effect of the solar radiation on the quality of the coffee fruits (*Coffea arabica* L.) dried and stored under different conditions after wet removal of peel and mucilage. Physical, chemical and biochemical characteristics of the wash water were determined at different operational phases of peeling and mucilage removal from coffee fruits. The quality determination of the final product was based on commercial classification system, considering color variation, especially the grain whitening, and the relationship between drying process and storage, and fungal contamination. The experiment was set up on a farm located in the municipality São Miguel do Anta, Minas Gerais . Coffee fruits `Catuaí', were harvested manually on a plastic sheet, during May and July 2004. The water content of the fruits at harvest was about 60% w. b. The harvested fruits contained 68% mature, 16% green and partially ripe and 16% of on-tree dried fruit. Approximately 10,000 L of coffee fruits were processed per day with an average consumption of 3 L of water per liter of fruits during the first peeling phase and of 1.8 L in the second peeling phase. Samples of water, entering, leaving the washer/separator, peeler and mucilage remover and discarded at the end of the process, were collected. The experiment was done split-plot design in a factorial of 6 x 2, with split plot of four periods of evaluations, with three replications. Treatments included six drying procedures and two forms of covering the stored lots. The high Biochemical and Chemical Oxygen Demand of wash water

indicated that it contained high concentrations of organic matter, which if discarded in fluvial receptors without prior treatment can cause serious environmental problems. The high concentration of total solids, mostly consisting of volatile, indicated the need of their removal by biological treatment. Drying without direct exposure to solar radiation reduced grain whitening during the storage, and resulted in better quality coffee. The manual selection of the black, green and fermented grains during the drying process and during peeling of dried fruits can contribute to a final product with lower number of defects. The appearance of fungal spores and grain colonization during storage was low and did not affect coffee quality. The coffee lots covered with black plastic sheet had better drink quality, coloration and low fungal incidence.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor mundial de café, respondendo por 33,6 % da produção total em 2001, seguido pelo Vietnã, com 15,5 %, e pela Colômbia, com 12,1 % (Fao, 2003).

Em 2004, segundo Conab (2005) a produção de café beneficiado no Brasil atingiu 39.272 mil sacas, enquanto que, em agosto de 2005, as estimativas atingiram 33.328 mil sacas. Esta redução decorreu não apenas em função da bianualidade da produção cafeeira, mas também ao clima desfavorável nas principais regiões produtoras, principalmente nos últimos meses de 2004, quando ocorreram chuvas excessivas.

Contudo, a produção de café está representada em todos os continentes, à exceção da Europa. Além do Brasil, do Vietnã e da Colômbia, outros importantes países produtores de café nos vários continentes são: a) Ásia: Indonésia, Índia e Tailândia; b) África: Etiópia, Costa do Marfim, Uganda e Quênia; c) Oceania: Papua Nova Guiné; e d) América Latina: México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Costa Rica e Peru (Viana, 2003). Os principais países exportadores de café em 2001 foram Brasil, Vietnã e Colômbia respondendo por transações de US\$ 2,373 milhões de dólares (Fao, 2003).

O café é um produto agrícola, cujo cultivo é de grande importância sócio-econômica para o estado de Minas Gerais e para o Brasil, tanto em relação ao mercado do trabalho, quanto na formação de empregos diretos e indiretos, na geração de impostos e na fixação de mão-de-obra no meio rural. A cultura do cafeeiro proporciona melhoria nas condições financeiras regionais, principalmente nas regiões mais adversas, como na do Cerrado ou Vale do Jequitinhonha, por exemplo.

A qualidade do produto só ganhou força no mercado interno no início da década de 1990, depois da extinção do Instituto Brasileiro do Café (IBC), que detinha o

monopólio da comercialização externa e interna do produto. No novo ambiente comercial, as estratégias passaram a ser definidas com base no conhecimento e atendimento das necessidades dos consumidores. Nos principais países importadores do café brasileiro (Estados Unidos, países da Europa e Japão), existem parcelas de consumidores exigentes de produto com alto padrão de qualidade. Esse mercado segmentado, conhecido como de cafés especiais, tem crescido muito nos últimos anos (Afonso Júnior, 2001).

No entanto, o Brasil pouco participa do mercado mundial de cafés especiais, sendo crescente a cada ano. A melhoria da qualidade compreende cuidados da pré-colheita até a torração.

Devido ao elevado teor de água no momento da colheita, o café necessita ser seco para que possa preservar sua qualidade ao longo do armazenamento. Nesta etapa o teor de água é reduzido de aproximadamente 60 % base úmida para 11-13 % b.u., sendo os processos de secagem mais utilizados a secagem artificial em terreiros ou em secadores mecânicos. A secagem mecânica, em geral, pode ser realizada com temperatura baixa, alta ou de forma combinada (Silva e Leite, 2000).

A secagem executada com baixa temperatura utiliza as condições ambientais do ar ou com pequenos incrementos de temperatura. Neste processo, o tempo que o produto leva para perder umidade pode possibilitar o desenvolvimento de microrganismos ou acelerar as atividades metabólicas dos frutos e grãos e, conseqüentemente, reduzir a qualidade final do café. Já a secagem em alta temperatura, no caso do café, se praticada em níveis acima de 45 °C nos grãos, pode contribuir para redução da qualidade do produto pela ação do calor. Desta forma, tanto a secagem em baixa ou em alta temperatura podem concorrer para o fracasso dessa operação, considerando-se a qualidade do produto. Entretanto, alguns autores mencionam que outros parâmetros, além da temperatura do ar de secagem, estão envolvidos na redução da qualidade de produtos agrícolas, entre os quais está a umidade relativa do ar de secagem.

De acordo com diversos pesquisadores, pode-se não perceber, momentaneamente, os danos causados pela ação da secagem realizada incorretamente, mas, quando o produto é armazenado durante determinado tempo, pode-se observar declínio do potencial de qualidade do material. Portanto, torna-se necessário diferenciar a perda de qualidade do café decorrente da armazenagem inadequada e aquela devido a secagem inadequada. Cabe ressaltar que parte dos danos causados aos produtos

agrícolas é devido à condução incorreta da operação de secagem, e podem ser inibidos na armazenagem pelo uso de baixa temperatura em condições controladas.

Os atuais procedimentos para avaliação do café comercial, isto é, o café depois de colhido, preparado, seco, beneficiado e ensacado, que recebe a denominação de “café verde”, baseiam-se em uma série de apreciações subjetivas feitas por especialistas. As avaliações consideram as características físicas como forma, tamanho, cor, uniformidade dos grãos e tipo de bebida. A cor, por estar diretamente relacionada com a bebida, tem grau de importância superior ao tamanho e é uma das características que mais chama atenção para a comercialização (Monteiro, 2002).

Os fatores que contribuem para melhoria da qualidade do café brasileiro têm sido importante objeto de estudo, tanto no que se refere ao tipo e à bebida quanto a sua coloração e infecção por microrganismos, contribuindo como atributos na conquista de mercados internacionais, além da valorização da cotação do produto nacional quando confrontado com o de outros países.

Sendo assim, com o presente trabalho objetivou-se analisar o efeito da radiação solar sob diferentes condições de secagem e armazenagem dos grãos de café, na qualidade comercial do produto preparado sob a forma cereja descascado/ despulpado/ desmucilado, além de caracterizar física, química e bioquimicamente, em diferentes fases das operações unitárias, a água residuária da lavagem, da despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

Especificamente objetivou-se:

- a) Avaliar a qualidade comercial do produto secado artificialmente em terreiro de cimento (exposição à luz) e em secador mecânico (sem exposição à luz);
- b) Avaliar a qualidade comercial do produto quanto à variação da cor; e,
- c) Avaliar, simultaneamente aos processos de secagem e armazenagem, a contaminação por microrganismos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Preparo e processamento dos frutos do cafeeiro

A operação de lavagem e separação dos frutos do cafeeiro, denominada pré-processamento, deve ser realizada a fim de obter lotes uniformes, cuja principal finalidade é melhorar a eficiência da secagem e a qualidade do produto. É realizada em lavadores, com dispositivos que separam os frutos pesados, denominados “cereja”, verdoengo e verde, dos leves ou “bóias”, constituídos por frutos defeituosos e, ou com menor teor de água.

As operações unitárias realizadas durante o preparo dos frutos do cafeeiro podem ser feitas por via seca ou úmida. Por via seca, mais comumente utilizada no Brasil, os frutos, após a lavagem e a separação, são secados na forma natural. Por via úmida, obtém-se cafés descascados com ou sem desmucilagem, gerando, de acordo com Rolz *et al.*, citados por Delgado e Barois (1999), aproximadamente, 3 t de resíduos, necessitando de 4 t de água por tonelada de grãos processados.

Segundo Silva e Leite (2000), 90 % da produção do café brasileiro é processada por via seca. Entretanto, tem crescido o número de produtores que optam pelo processamento de frutos tipo “cerejas”, descascando-os e desmucilando-os, principalmente nas regiões montanhosas, com disponibilidade de água.

Os grãos de café despulpados têm a vantagem de proporcionar considerável diminuição na demanda da área do terreiro para secagem, podendo reduzi-la em 40 % (Bueno, 1998), além da redução do tempo (Bártholo e Guimarães, 1997) e do consumo energético na secagem, já que os grãos despulpados apresentam relativamente baixo teor de água, entre 50 e 60 % b.u., quando comparado com o fruto natural.

A polpa é o primeiro resíduo gerado no processamento do fruto do cafeeiro e por ser constituída, predominantemente por carboidratos, proteínas, cafeína e taninos, além de potássio, nitrogênio e sódio, o que pode, conforme Vasco (2000), ser responsável pelos elevados valores de condutividade elétrica, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos em suspensão, sólidos fixos, sólidos voláteis, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, potássio total, sódio total.

A água residuária, constituída pelas águas provenientes de todas as operações de pré-processamento e de processamento é, dentre todos os resíduos, o que provoca o maior impacto ambiental. Possui alta quantidade de sólidos suspensos, além de conter açúcares e outros materiais orgânicos solúveis (Cabanellas, 2004).

Com o emprego de técnicas atualizadas, gera-se entre 0,1 e 0,2 L de água residuária por litro de frutos pré-processados, na lavagem dos frutos do cafeeiro, o que depende do tamanho do compartimento de lavagem do equipamento e do número de descargas efetuadas durante o dia, para realizar a substituição da água. No descascamento/ despolpa e a desmucilagem gera-se entre 3 e 5 L de água por litro de frutos (Matos e Lo Monaco, 2003).

De acordo com Campos *et al.* (1998), a Legislação Ambiental do Estado de Minas Gerais (Deliberação Normativa COPAM nº 10/86) estabeleceu que, para o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos, a DQO seja de 90 mg.L⁻¹ e a DBO, que mede a quantidade de material orgânico presente, seja de 60 mg.L⁻¹, ou que a eficiência do sistema de tratamento das águas residuárias, para remoção da DBO, seja superior a 85 %, desde que não seja alterada a condição de qualidade do curso d'água receptor.

2.2 Características da água residuária gerada durante as operações de lavagem, descascamento/despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentadas, segundo Matos *et al.* (2005), as principais características físicas, químicas e bioquímicas das águas residuárias resultantes da lavagem e despolpa dos frutos “cereja” do cafeeiro, quando submetidas à recirculação no sistema de processamento.

As determinações de DBO e DQO são de grande importância na verificação do grau de poluição orgânica de cursos d'água, no estudo de cargas orgânicas poluidoras e

na escolha do tipo de tratamento a ser efetuado. No caso em que a DQO seja menor que o dobro da DBO, é possível que grande parte da matéria orgânica seja biodegradável e se a DQO for muito além da DBO, é possível que grande parte da matéria orgânica não seja biodegradável. Outros atributos importantes para a caracterização e quantificação da poluição são: pH, sólidos totais, sedimentáveis, suspensos, condutividade elétrica e turbidez (Matos *et al.*, 2005).

Tabela 1 – Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro arábica

TIPO	FUNÇÃO	pH	DQO	DBO ₅	N _T	P _T	K _T	Na _T
		mg.L ⁻¹						
ASR	Desc./Desp.	3,5 – 5,2	3.430-8.000	1.840-5.000	120-250	4,5-10,0	315-460	2,0-5,5
ACR	Desc./Desp.	-	18.600-29.500	10.500-14.340	400	16	1.140	16,5

<http://www.ufv.br/poscolheita/aguas/caracterizacao.htm> - dia 16/07/2005.

Sendo: **ASR** – arábica sem recirculação e **ACR** – arábica com recirculação; **pH** – potencial hidrogeniônico; **DQO** – demanda química de oxigênio; **DBO₅** – demanda bioquímica de oxigênio; **N_T** – nitrogênio total; **P_T** – fósforo total; **K_T** – potássio total; **Na_T** – sódio total.

Tabela 2 – Caracterização das águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon

EF	pH	CE	SP	ST	SS	SD	SFT	SVT	DQO	DBO ₅	N _T	P _T	Na _T	K _T
		mg.L ⁻¹												
1	4,9	0,2590	17	1069	380	689	390	679	1520	411	76,8	5,0	25,5	41
2	4,75	0,5848	0	4889	850	4039	126	4763	5148	2525	105,5	8,8	45,0	115
3	4,1	0,7180	180	5504	1888	3616	706	4798	10667	3184	124,6	10,8	58,3	154
4	4,1	0,9920	330	6403	2336	4067	848	5555	11000	3374	160,0	13,9	77,1	205

<http://www.ufv.br/poscolheita/aguas/caracterizacao.htm> - dia 16/07/2005.

Sendo: **EF** – efluente; **pH** – potencial hidrogeniônico; **CE** – condutividade elétrica; **SP** – sólidos sedimentáveis; **ST** – sólidos totais; **SS** – sólidos em suspensão; **SD** – sólidos dissolvidos; **SFT** – sólidos fixos totais; **SVT** – sólidos voláteis totais; **DQO** – demanda química de oxigênio; **DBO₅** – demanda bioquímica de oxigênio; **N_T** – nitrogênio total; **P_T** – fósforo total; **K_T** – potássio total; **Na_T** – sódio total.

O potencial hidrogeniônico (pH) é um atributo importante, pois condiciona as reações químicas do meio. A eficiência de coagulantes na floculação de sólidos em suspensão na água pode estar diretamente associada ao valor de pH do meio, por isso, sua determinação é importante no controle de processos que envolvam etapas de coagulação, decantação e filtração.

Os sólidos em suspensão são os responsáveis pelo aparecimento da turbidez nas águas. A turbidez nas águas é proporcionada pela presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos (Von Sperling, 1996). É necessário fazer distinção entre material suspenso que precipita rapidamente, dos chamados sedimentos que precipitam vagarosamente e provocam turbidez. A turbidez é encontrada em quase todas as águas de superfície, em valores elevados, sendo normalmente ausente em águas subterrâneas.

A condutividade elétrica (CE) depende da qualidade de sais dissolvidos na água, sendo tanto maior quanto maior for a concentração de eletrólitos nela dissolvidos e por isso, sua determinação possibilita estimar a quantidade de sólidos nela dissolvidos. Elevadas concentrações de sólidos totais dissolvidos fazem aumentar a solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, o que influi na cinética de coagulação (Di Bernardo, 2000).

2.3 Equilíbrio higroscópico

Para a correta realização das operações de secagem e armazenagem torna-se necessário o conhecimento das relações existentes entre a temperatura e a umidade relativa do ar e o teor de água desejável para a boa conservação do produto.

A disponibilidade de água em materiais higroscópicos, tais como frutos e grãos, é indicada pela atividade de água ou pela umidade de equilíbrio com a umidade relativa do ar ambiente. A atividade de água no grão e a umidade relativa do ar quando atingido o equilíbrio são numericamente iguais (Hall, 1980; Brooker *et al.*, 1992).

Como todo material higroscópico, o grão de café tem a propriedade de ceder ou adsorver água do ambiente, tendendo, constantemente, a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e o ar ambiente. A umidade de equilíbrio, também denominada umidade de equilíbrio higroscópico, é o teor de água na qual a pressão de vapor d'água no produto é igual a do ar que o envolve (Sokhansanj e Yang, 1996).

Christensen e Kaufmann (1974) observaram a influência da atividade de água, para diversos produtos de origem vegetal, no comportamento dos principais fungos sob condições ótimas de temperatura (26 a 30 °C) e indicaram que, em geral, atividades de água superiores a 0,80 são altamente favoráveis à sobrevivência e desenvolvimento desses microrganismos. As bactérias, entretanto, precisam de atividades de água maiores que os fungos e leveduras, necessitando, em sua maioria, de valores superiores a 0,90 (Jay, 1994).

Roa e Rossi (1977) definiram a diferença entre o teor inicial de água do produto a ser seco e a umidade de equilíbrio higroscópico, quando submetido a condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, como potencial de secagem do produto, ou seja, o material só poderá ser secado até o teor de água de equilíbrio para as condições pré-estabelecidas de temperatura e umidade relativa.

Cal-Vidal (1982) atribui que a adsorção de água em produtos agrícolas tem natureza diversa. Diferentes porções de água podem ser mantidas nos espaços intergranulares e no interior da massa porosa do material. O grau de associação das moléculas de água com a substância adsorvente irá depender da natureza química dos diversos compostos orgânicos do grão e da existência de forças intermoleculares do tipo van der Waals, responsáveis pela adsorção física e, ainda, das possíveis ligações químicas e atrações entre moléculas de água e grupamentos eletro-negativos devido à formação de pontes de hidrogênio.

Chung e Pfof (1967), explicaram que uma molécula de água pode estar ligada a dois grupos polares; na dessorção o adsorvente perde água fazendo com que os grupos polares se aproximem, tornando pequena a distância entre si, o que dificulta a penetração da molécula de água no processo de adsorção, diminuindo assim, o teor de água do produto.

Segundo Brooker *et al.* (1992) a equação desenvolvida por Chung-Pfof permitiu estimar, com relativa precisão, os valores de umidade de equilíbrio de grãos de cereais na faixa de 20 a 90 % de umidade relativa. Pixton e Howe (1983) avaliaram diferentes equações de umidade de equilíbrio e verificaram que o modelo modificado de Chung-Pfof ajustou-se, adequadamente, para representar isotermas de cereais.

Inúmeros autores têm estudado o comportamento higroscópico de vários produtos agrícolas utilizando métodos diferenciados para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar (isotermas de sorção).

Entretanto, para o estabelecimento de isotermas que representem essa relação de equilíbrio são utilizados modelos matemáticos empíricos, uma vez que nenhum modelo teórico proposto tem sido capaz de predizer, com precisão, a umidade de equilíbrio, para uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar.

As equações empíricas mais empregadas para predizer a umidade de equilíbrio de produtos de origem vegetal são as seguintes: BET, GAB, Henderson, Henderson-Modificada, Chung-Pfof, Oswin, Smith, Halsey e Aguerre, por apresentarem bom ajustamento a dados experimentais (Aguerre *et al.*, 1989; Jayas e Mazza, 1991; Brooker *et al.*, 1992; Sun e Woods, 1994; Morey *et al.*, 1995; Talib *et al.*, 1995; Chen e Jayas, 1998; Corrêa *et al.*, 1998; Soysal e Öztekin, 1999).

2.4. Processo de secagem

A secagem pode ser classificada em dois processos básicos: natural e artificial. O natural é caracterizado pela secagem do produto no campo, sem a interferência do homem e, o artificial, por meio de técnicas que, pela interferência do homem, possibilitam reduzir o tempo de operação. Como exemplo de secagem artificial, com ventilação natural, tem-se a secagem em terreiros e em secadores solares rotativos. Já a secagem com ventilação forçada é classificada, de acordo com o aquecimento ou não do ar de secagem em: secagem com ar à temperatura ambiente; secagem em baixa temperatura, em que o ar é aquecido até 10 °C acima da temperatura ambiente; secagem em alta temperatura, em que o ar é aquecido, no mínimo, 10 °C acima da temperatura ambiente; sistemas combinados, em que se utilizam os dois métodos, ou seja, alta e baixa temperaturas; e ainda, seca-aeração (Silva *et al.*, 1995).

2.4.1 Secagem de café

A secagem do café é uma das operações unitárias mais importantes durante o processamento pós-colheita e comparativamente mais difícil de ser executada do que a de outros produtos. Além do elevado teor de açúcar presente na mucilagem, o teor inicial de água das sementes, de aproximadamente 60 % b.u., faz com que a taxa de deterioração, logo após a colheita, seja bastante alta (Silva, 1999).

Segundo Thomaziello *et al.* (1996), a secagem correta é fator importante na obtenção de um produto de boa qualidade. Abrahão *et al.* (1976), afirmaram serem seis os fatores que afetam a qualidade da bebida do café: grau de maturação, variedade, tempo decorrido entre a colheita e o início da secagem, influência do primeiro tratamento térmico, temperatura e velocidade de secagem.

Apesar dos ventos e da energia solar não apresentarem custos aparentes, o baixo rendimento dessa energia exige o uso de grandes áreas de terreiro e muitas horas de trabalho, inviabilizando, na maioria das vezes a adoção desses sistemas.

Segundo Matiello (1991), além da redução do tempo de secagem, a utilização de secadores viabiliza a secagem em regiões úmidas e em períodos de chuva.

Ao estudar a otimização energética em operações pós-colheita de café, Barros *et al.* (1994) concluíram que a secagem mecânica, considerando os tipos de secadores horizontais e verticais, representa 80 % do consumo total de energia elétrica, sendo

diretamente influenciada pelo teor inicial de água do café, temperatura de secagem, uniformidade dos lotes e a forma de carregar o secador. Conclui, também, que 90 % dos cafés processados mecanicamente apresentaram excelente qualidade.

A secagem de café, utilizando energia solar em terreiros, tem sido usada há anos e continuará sendo amplamente utilizada no país, não por ser a mais adequada ou econômica, mas por ser a técnica empírica mais conhecida até hoje e por exigir pouco conhecimento técnico.

No processo de secagem em terreiro, o café é aquecido pela ação dos raios solares e secado pelo ar ambiente através da sua movimentação. É aconselhável, durante o processo, trabalhar com lotes homogêneos, considerando-se tanto a época de colheita quanto o estágio de maturação ou o teor de água, para a obtenção de um produto final uniforme e de boa qualidade.

No Brasil, o café é colhido durante os meses secos do inverno, principalmente entre maio e agosto. As condições climáticas da maioria das regiões produtoras possibilitam a secagem em terreiros, sem que isso afete a qualidade do café, principalmente porque a umidade relativa do ar é baixa, havendo boa radiação solar e pouca ocorrência de chuvas. Em regiões de clima úmido, o café secado artificialmente em terreiro, tem maior possibilidade de ser contaminado por agentes microbiológicos por causa do alto teor inicial de água (60 a 70 % b.u.) e da secagem lenta (Donzeles, 2002).

Lacerda Filho (1986) concluiu que o terreiro com piso de terra apresentou menor rendimento de secagem do que com piso construído por outros materiais. O mesmo autor avaliou terreiros com diferentes tipos de pisos para as condições de Viçosa e concluiu que o emprego de diferentes materiais de construção pode influenciar a qualidade de bebida. Santinato, citado por Lacerda Filho (1986), obteve resultados diferentes, quando em estudos feitos sobre o uso de diferentes tipos de piso não verificou alteração na qualidade da bebida do produto.

A secagem em terreiro, além de requerer tempo relativamente longo para a realização do processo, apresenta outras desvantagens, como a utilização de grandes áreas nobres para a sua construção, excessiva mão-de-obra e, muitas vezes, exposição do produto a condições climáticas adversas, favorecendo o desenvolvimento de fungos e o processo de fermentação, que depreciam a sua qualidade (Campos, 1998).

Segundo Dorfman (1980), o processo de fermentação ocorre principalmente no café amontoado, que é aquecido em razão de sua própria respiração e do elevado teor de

água. O calor gerado não é dissipado, pois não existe fluxo de ar entre os grãos, estando estes isolados termicamente no meio da camada.

Bitancourt, citado por Larcercda Filho (1986), estudou os efeitos da fermentação e da podridão sobre a qualidade do café e concluiu que a exposição deste ao ambiente, a qual permite uma rápida secagem, evita a podridão e a fermentação, por não haver tempo para o desenvolvimento de microrganismos no produto. O café exposto em terreiro durante muitos dias, sem secar, tende a apodrecer por causa da alta umidade do ar e dos grãos, da falta de insolação e de arejamento e, principalmente, pelos microrganismos que podem ter sido inoculados na polpa pela mosca das frutas.

Segundo Silva (1991), a dificuldade de escoamento que o café apresenta no início da secagem inviabiliza a utilização de secadores dotados de dispositivos normais de movimentação de grãos. O processo mais utilizado, atualmente, consiste na realização de pré-secagem em terreiros para posterior utilização de secadores mecânicos.

Gitimu (1995) afirmou que a secagem do café ao sol é bastante recomendada, pois exerce um efeito positivo na qualidade dos grãos. Afirmou, também, que alguns cuidados especiais devem ser tomados na secagem, de acordo com os teores de água:

- a) entre 44 e 33 % b.u., a secagem deve ocorrer de forma lenta para evitar rachaduras no pergaminho, por isso deve-se cobrir o café durante as horas mais quentes do dia;
- b) entre 32 e 22 % b.u., nesta faixa de teor de água é formada a cor final do grão, recomendando que o café fique exposto à luz solar durante um período não menor que dois dias para intensificar a cor verde. A secagem mecânica não deve ser usada nesse estágio; e,
- c) entre 21 e 12 % b.u., o café pode ser secado mais rapidamente, inclusive com a utilização de secadores para evitar prejuízos à qualidade,.

Uma prática recomendada é a de secar o café em terreiros ou em pré-secadores até a fase de meia-seca (35 a 40 % b.u.), para posterior secagem em secador mecânico até o ponto de armazenamento (11 a 12 % b.u.) ou, ainda, até que o teor de água diminua até 22 % b.u., para que possa ser submetida a uma secagem complementar em silo aerado durante o processo de armazenamento e atingir a umidade de comercialização (Silva *et al.*, 2000b).

O tempo médio para secagem completa em terreiro é de 15 dias para as condições do Sul de Minas, Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro e de 20 a 30 dias para a Zona da Mata de Minas Gerais (Bártholo e Guimarães, 1997).

2.5 Armazenamento do café

Devido ao grande volume a ser armazenado e ao alto custo da operação de armazenagem convencional, lotes de café em coco ou cereja seco podem ser armazenados a granel, em silos ou tulhas. Apesar da proteção da casca seca, existe a possibilidade de ocorrência de modificações físicas e químicas, principalmente se os silos não possuírem sistemas de ventilação adequados e boa proteção contra umidade e chuvas (Silva *et al.*, 2005).

Nos países produtores, o café beneficiado ou verde, é tradicionalmente armazenado em saco de juta de 60 kg. Mesmo apresentando algumas desvantagens, o armazenamento em sacaria permite a segregação dos lotes (Figura 1), que é um aspecto muito importante, visto que o produto é avaliado, além de outros padrões de qualidade, pela cor, pela variedade, pela origem e, especificamente para o café, pelo tipo e pela prova de xícara (Silva *et al.*, 2005).

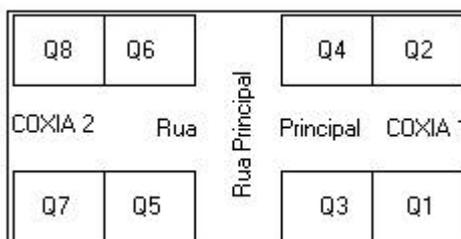


Figura 1 – Divisão do armazém para a segregação de lotes e blocos.

2.6 Qualidade do café

2.6.1 Quanto à classificação e tipo

Da colheita ao armazenamento, o café é submetido a uma série de operações que, se bem executadas, fornecerão um produto que representa as características de tipo e sensoriais de bebidas exigidas pelos consumidores, refletindo a sua qualidade (Illy e Viani, 1995; Silva, 1999).

Os atuais procedimentos de avaliação comercial da qualidade do café estão baseados no Decreto nº 4.629 de 21 de março de 2003, na Lei nº 9.972, de 25 de maio de 2000, no Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000, que aprovam o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão

Cru, instituído por meio da Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, classificando-o em categoria, subcategoria, grupo, subgrupo, classe e tipo, segundo a espécie, formato do grão, a granulometria, o aroma e o sabor, a bebida, a cor e a qualidade, respectivamente (Brasil, 2003).

Os atuais procedimentos para avaliação do café comercial, isto é, o café depois de colhido, preparado, seco, beneficiado e ensacado, que recebe a denominação de “café verde”, baseiam-se, principalmente, em uma série de apreciações subjetivas feitas por especialistas. As avaliações são baseadas nas características físicas como forma, tamanho, cor, uniformidade dos grãos e tipo de bebida. A cor, por estar diretamente relacionada com a bebida, tem grau de importância superior ao tamanho e é a característica que mais chama atenção durante a comercialização (Monteiro, 2002).

A classificação do café quanto ao tipo consiste na determinação do número de grãos imperfeitos ou na quantidade de impurezas contidas em uma amostra de 300g. Esta classificação apresenta sete tipos de valores decrescentes, de dois a oito. A cada tipo corresponde ao maior ou menor número de defeitos existentes no café, como grãos pretos, ardidos, verdes, preto-verdes, quebrados, brocados, conchas, chochos, cocos e marinheiros, e impurezas como cascas, paus, torrões, pedras etc.

O tipo quatro é chamado tipo “base”, por ter sido, no passado o café mais freqüentemente comercializado no Porto de Santos (SP), sendo, assim, considerado como padrão na fixação de preço. Na Instrução Normativa, consta na tabela de classificação, uma coluna de “pontos” onde é lida o número de pontos atribuídos aos tipos e aos intermediários. Entre um tipo e outro há uma diferença de 50 pontos, subdivididos de cinco em cinco positivos e crescentes, do tipo quatro para o tipo dois, e crescentes negativamente do tipo quatro para o tipo oito (Teixeira, 1999). Por exemplo, um café 5-20: o número à esquerda corresponde ao tipo e à direita o valor que, somado a um valor “base”, diz respeito ao quanto o produto será depreciado comercialmente, tendo em vista a observação do número de defeitos contidos na tabela de classificação prevista pela Instrução Normativa.

Segundo Sampaio (1967), quanto menor o tipo maior será o valor comercial, ou seja, menor o número de defeitos e menor a pontuação a ser descontada no processo de comercialização do café beneficiado.

A classificação por qualidade considera os elementos forma, tamanho, aspecto, cor, torração e bebida e depende de vários fatores, destacando-se, dentre eles: a) composição química do grão, determinada por fatores genéticos, culturais e ambientais;

b) processo de preparo e conservação do grão, no qual intervém a ação da umidade e da temperatura; e c) torração e preparo da bebida (Freire, 1998). As características físicas do café, representadas principalmente pelo número de defeitos que este possa apresentar, associadas às características organolépticas como gosto e aroma da bebida são os principais aspectos considerados na comercialização de café.

Os fatores que contribuem para melhoria da qualidade do café brasileiro têm sido importante objeto de estudo, visto que, a boa qualidade em tipo e bebida do produto constitui um dos principais atributos na conquista de mercados internacionais, além da valorização da cotação do produto nacional quando confrontado com o de outros países.

2.6.2 Quanto à cor

Das características que dependem do aspecto físico dos grãos de café, a cor tem grande importância econômica e interfere decisivamente no processo de comercialização do produto, pois dela dependerá a aceitação ou rejeição pelo comprador, uma vez que a variação da cor do material pode ser um indicativo de problemas ocorridos durante o processo de preparo, secagem, condições de armazenagem, envelhecimento dos grãos, entre outros.

O produto, durante e depois da colheita, sofre transformações bioquímicas que alteram sua cor e qualidade, reduzindo o valor comercial do produto (Amorim *et al.*, 1977; Carvalho *et al.*, 1997). Segundo Bacchi (1962), a mudança de coloração dos grãos de café depende de diversos fatores, tais como: tempo de armazenagem, tipo de embalagem, teor de água, injúrias sofridas pelo produto e umidade relativa do ar, principalmente para valores superiores a 80 %.

O excesso de umidade do grão é um dos fatores que causam distúrbios de ordem fisiológica ao café. De acordo com Subrahmanyam *et al.* (1961), não se sabe ao certo o teor de água crítico no qual a mudança de cor é mais acentuada, mas sabe-se que varia entre 7 e 22 % b.u., quando a umidade relativa do ar oscila entre 50 e 95 %, à temperatura de 24° C. Como limite de segurança para o armazenamento do café, aconselha-se um teor de água no grão de, no máximo, 12 % b.u. (Bártholo e Guimarães, 1997).

Quando recém-colhidos, os grãos de café beneficiados apresentam coloração verde. Estando bem armazenados, cerca de um ano depois, essa cor passa a esverdeada,

e mais um ano, nas condições acima, passa a esverdeada clara. Depois de algum tempo torna-se de cor clara, ainda com resquícios da tonalidade verde. Posteriormente, com o envelhecimento, o café começa a se tornar amarelado; com o passar do tempo, vai se tornando amarelo e mais tarde, ao atingir as etapas finais da sua conservação, começa a mofar e a deteriorar, ficar esbranquiçado e, finalmente, branco por completo (Graner e Godoy, 1967).

Hara (1972), trabalhando com armazenamento de grãos de café, estudou, além da umidade relativa do ar, o efeito da luz e da temperatura de estocagem sobre a coloração do produto. O autor verificou que grãos armazenados na ausência de luz apresentaram tendência ao branqueamento, enquanto na presença de luz, de modo geral, mantiveram sua cor original. Com relação à temperatura, os grãos conservaram melhor a cor quando armazenados em baixa temperatura. Segundo Stirling (1975), temperaturas na faixa entre 10 e 17 °C são adequadas para a preservação das características de aparência dos grãos de café, bem como da qualidade da bebida por período superior a um ano de armazenagem. Comportamento semelhante foi também observado por Multon *et al.* (1974) e Oliveira (1995). Vilela *et al.* (2000) estudaram a alteração de cor de grãos de café armazenados em quatro condições de temperatura (10, 20, 30 e 40 °C) e quatro umidades relativas (52, 67, 75 e 85 %), e verificaram que, sob condições constantes, somente a 10 °C de temperatura e umidades relativas do ar de até 67 %, os grãos de café mantiveram a cor original durante o período de armazenagem. Relatando, ainda, que a interação entre temperatura e umidade relativa, em níveis mais altos e constantes, faz com que os grãos comecem a sofrer alteração na cor com poucos dias de armazenamento.

Lopes (2000) analisou, durante o armazenamento, a influência da luz sobre a cor e bebida de grãos de café beneficiado e verificou que, embora o produto estocado no escuro tenha apresentado tendência a clarear, não apresentou diferença degustativa entre a qualidade da bebida dos grãos armazenados no escuro.

Apesar da importância da relação entre a cor dos grãos e a qualidade da bebida de café, não é citado na literatura especializada, com precisão, qual a substância ou composto químico responsável pela coloração verde dos grãos. Chassevent (1987) relatou ser um pigmento azul, resultante da reação entre quinona com o agrupamento α -amino de aminoácidos, responsável pela cor verde do grão de café. Segundo o autor, a cor do café tem origem na mistura dessa substância com o excesso de quinonas presentes no grão, que apresentam uma coloração amarelada. O pH e a atividade

enzimática da polifenoloxidase são fatores que influenciam na formação do pigmento e na sua estabilidade, assim como este seria fotossensível e instável sob temperaturas superiores a 35 °C.

Northmore (1968), a partir do extrato de grãos de café do Quênia, obteve uma solução incolor com os principais componentes responsáveis pela coloração do produto, a qual, sob certas condições, apresentava as principais cores encontradas nos grãos de café. Verificou-se que a formação do pigmento azul ocorre quando um dos isômeros do ácido clorogênico é parcialmente oxidado e se liga com o íon magnésio. Observou-se, ainda, que a adição de pequenas quantidades de magnésio torna mais visível a cor verde da solução, enquanto a adição de concentrações maiores do elemento torna a solução mais visível para o azul. Sugeriu-se, então, ser a cor do café formada a partir dos componentes do ácido clorogênico e magnésio. Verificou-se também descartável a hipótese de ser a clorofila a responsável pela cor verde da solução, por ser o pigmento solúvel em água e a clorofila não, fato este confirmado posteriormente por Mazzafera *et al.* (1984).

A coloração do grão de café pode ainda ser afetada pela nutrição mineral da planta. Robinson (1960) observou que a deficiência de ferro causou prejuízo na qualidade da bebida e os grãos apresentaram uma coloração amarelada. Amorim (1970) abordou o problema da nutrição mineral do cafeeiro em relação à qualidade do produto, apresentando algumas hipóteses sobre como os níveis de alguns elementos no grão poderiam alterar as qualidades organolépticas do mesmo.

Mazzafera *et al.* (1984) afirmaram ser a descoloração dos grãos de café forte indicativo de que os processos oxidativos endógenos ocorreram ou estão ocorrendo em altas taxas, acompanhadas da queda de qualidade da bebida, provocada por alterações dos constituintes que contribuem para o aroma e sabor da mesma. Outros pesquisadores, também, observaram a existência de relação entre a perda de cor dos grãos e a redução da qualidade da bebida do café (Melo *et al.*, 1980; Oliveira, 1995; Leite *et al.*, 1998).

Estudos realizados por Amorim (1978) atribuem a alteração de cor dos grãos de café à desestruturação das membranas celulares, que podem ser causadas por fatores externos, como temperatura, umidade relativa do ar e injúrias. A modificação das estruturas destas membranas gera a perda de seletividade e compartilhamento, fazendo com que os componentes separados por estas estruturas entrem em contato com enzimas hidrolíticas e oxidativas, podendo afetar a cor, a massa específica, a acidez dos grãos e a qualidade da bebida.

Estudos baseados na degeneração das membranas celulares, desenvolvidos por Prete (1992) e Pereira (1997), verificaram alto valor de condutividade elétrica, ou elevadas concentrações de determinados íons lixiviados, principalmente em relação ao potássio, em solução obtida de grãos dos piores cafés.

Durante as etapas de pós-colheita, a casca, o pergaminho e as películas do café cereja protegem os grãos contra danos mecânicos e variações ambientais, tornando-os menos sujeitos à deterioração. Godinho *et al.* (2000) estudaram as variações na cor e na composição química do café armazenado em coco, verificando o efeito protetor da casca e do pergaminho sobre o grão, conservando melhor a estrutura e a cor do produto durante o período de estocagem, quando comparado com o café armazenado já beneficiado. Matielo (1991) relatou que, no pré-processamento dos cafés despulpado e descascado, sendo maior a exposição aos danos mecânicos, a cor original pode ser modificada mais rapidamente em relação ao produto preparado na forma integral.

Segundo Menchú (1967), a secagem altera a cor dos grãos de café, especialmente nos secadores mecânicos, sendo a cor desigual da massa de grãos o defeito mais generalizado. O autor mencionou, ainda, que a utilização de temperaturas superiores a 80 °C favorecem o surgimento de grãos de cor acinzentada que, ao reabsorverem umidade, sofrem branqueamento irregular, iniciando o processo de descoloração pelas bordas do produto. De acordo com Amorim (1978), os cafés de melhor qualidade, tanto organolepticamente como nos aspectos cor e massa específica, apresentam distribuição mais intensa de lipídios nos bordos externos dos grãos e que mudanças na qualidade da bebida, seguida de variação na coloração do produto, estão associadas à distribuição e transformação dos lipídios, assim como a uma diferença quantitativa entre alguns destes componentes.

McLoy (1979), estudando a secagem mecânica de café verificou alteração na cor e na qualidade da bebida dos grãos devido ao emprego de temperatura mais elevada e a presença ou ausência de luz. Observou que a secagem artificial do produto, exposto ao sol em camada delgada, favorece o aparecimento de coloração desejável, enquanto a secagem em ambiente desprovido de luz produz grãos de qualidade inferior, cuja bebida piora com o aumento da temperatura do ar de secagem.

Silva *et al.* (1998) avaliaram o efeito de diferentes proporções de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem na qualidade da bebida do café e constataram que os melhores resultados foram obtidos utilizando-se a temperatura de 45 °C para as proporções de 0 e 2 % de frutos verdes e, ainda, que o índice colorimétrico, como

parâmetro de avaliação da qualidade, mostrou-se eficiente na diferenciação dos produtos de melhor qualidade.

Qualidade é um assunto complexo, no entanto, é indispensável, na cafeicultura moderna, conhecer os critérios que caracterizam os frutos do cafeeiro quanto a este parâmetro. Para isto, existem normas e padrões que classificam o café quanto ao tipo, forma, bebida e cor. A classificação quanto à cor indica o envelhecimento do café e, embora exista grande número de denominações, emprega para a exportação apenas cinco cores: verde, esverdeado, claro, amarelo e vermelho (Silva *et al.*, 1995).

Rochac (1964) relatou mais de 60 termos utilizados para descrever a cor de grãos de café, muitos dos quais confusos e subjetivos, como: verde-azulado-para-azul, chumbado, pampa, azul-monte, etc. Lopes et al. (1998) afirmaram que a utilização de tais termos faz com que exista discordância entre os classificadores e observou que uma classificação adequada pela cor dos grãos de café será satisfatória somente com o auxílio de padrões para referência, ou utilização de equipamentos capazes de expressar valores numéricos de cor.

Cor é uma das qualidades que se atribui à luz ou a materiais que reflitam ou emitam luz, quando estes produzem a sensação de visão, e é determinada em termos de intensidade (energia radiante) e comprimento de onda. Fisiologicamente, o olho humano é sensível na faixa do espectro de 380 a 770 nanômetros (Kramer, 1976).

A mistura de todos os comprimentos de onda visíveis resulta na luz branca. Quando um corpo é iluminado com luz branca, algumas das ondas de luz são absorvidas por ele e outras refletidas. É a mistura das ondas refletidas que dá a sensação de cor, que é denominada **matiz** (θ). Assim, um objeto aparentemente verde é aquele que absorve todas as ondas, exceto aquelas da região verde do espectro. Além disso, nesse processo de subtração, os pigmentos presentes nos objetos podem produzir vários efeitos, em que faixas do espectro são fortemente ou fracamente refletidas, caracterizando um comprimento de onda dominante. A **saturação** é a qualidade que identifica a cor, indicando a proporção em que está misturada com o preto, branco ou cinza. Matizes saturados misturados com luzes brancas produzem cores diluídas e a sensação visual humana pode distinguir muitos graus diferentes de saturação, percebendo profundidade e riqueza de cor. **Luminosidade**, por sua vez, representa outra qualidade da luz, que caracteriza o grau de claridade da cor e está associada à percepção produzida pelo corpo quando iluminado por luz branca de intensidade constante (Mueller e Rudolf, 1966; Amaral, 1973; Francis e Clydesdale, 1975).

A colorimetria representa a técnica de descrever, em termos numéricos, a cor de um objeto. Os métodos disponíveis para a medida da cor vão de simples comparação visual com um padrão, a sofisticados instrumentos, denominados colorímetros e espectrofotômetros.

Considerando a cor como um atributo de qualidade do café, a multiplicidade de termos subjetivos e a diversidade de condições de iluminação sob as quais os grãos são classificados, torna-se necessária à quantificação desse atributo em escalas conhecidas e aceitas internacionalmente, capazes de distinguir e determinar as diferentes cores e suas variações. Varias escalas de cores foram desenvolvidas a partir de um sistema padrão para medida da cor estabelecida pela Commission Internationale d'Eclairage (CIE), todas matematicamente conversíveis e criadas para simular a resposta humana aos estímulos das cores. Em cada sistema, a cor é alocada em um sólido de cor tridimensional, onde é quantificada (Setser, 1983).

Para trabalhos de rotina, especialmente nas indústrias, os colorímetros tristímulo têm sido muito utilizados em função da rapidez de obtenção de resultados. Hunter, citado por Lozano (1978), desenvolveu um colorímetro composto por fotocélulas e filtros cuidadosamente selecionados, separados em três circuitos, e que fornece parâmetros na escala **L**, **a**, **b** (Figura 2).

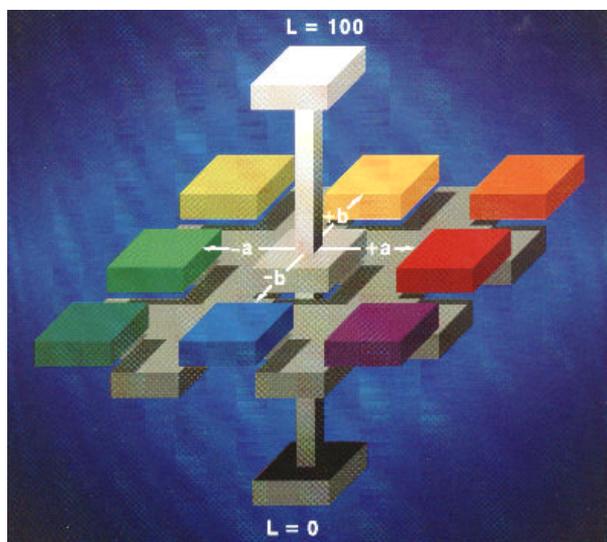


Figura 2 – Sólido de Hunter.

O termo **L** (luminosidade) está relacionado com a grandeza **Y** do sistema CIE e valor do sistema Munsell. O termo **a** se refere à tonalidade vermelha, se positivo, ou verde, se negativo. O termo **b** é mensurável em relação às tonalidades, amarela, se positivo, e azul, se negativo. Juntos **a** e **b** apresentam resultados equivalentes aos

obtidos com matiz e saturação do sistema Munsell de cor e, segundo Francis (1980), não são variáveis independentes e dificilmente poderão ser interpretadas separadamente. Uma análise estatística inadequada poderá gerar resultados infundados.

Ambas as escalas de cor Hunter **Lab** e CIE **L*a*b*** são baseadas na teoria de cor oponente, assumindo que os receptores do olho humano percebem a cor como pares opostos: claro – escuro; vermelho – verde; amarelo – azul (HunterLab, 2001).

As descrições do ângulo de matiz e índice de saturação (croma) podem ser observadas na Figura 3, por meio do diagrama do sistema Hunter **L, a, b**, no plano a-b (McLellan *et al.*, 1995). De acordo com funções trigonométricas, o ponto Ps está localizado na coordenada retangular (**a, b**) e na coordenada polar (ν_s, r), sendo ν_s (ângulo de matiz) = $\tan^{-1} b/a$; Índice de saturação (croma) = $(a^2 + b^2)^{1/2}$. As setas contidas na linha circular, apontando para o sentido anti-horário, indicam a mudança do matiz vermelho para amarelo, com o aumento da inclinação de 0 a π , de amarelo para verde, com a diminuição da inclinação de π a 0, etc (Little, 1975).

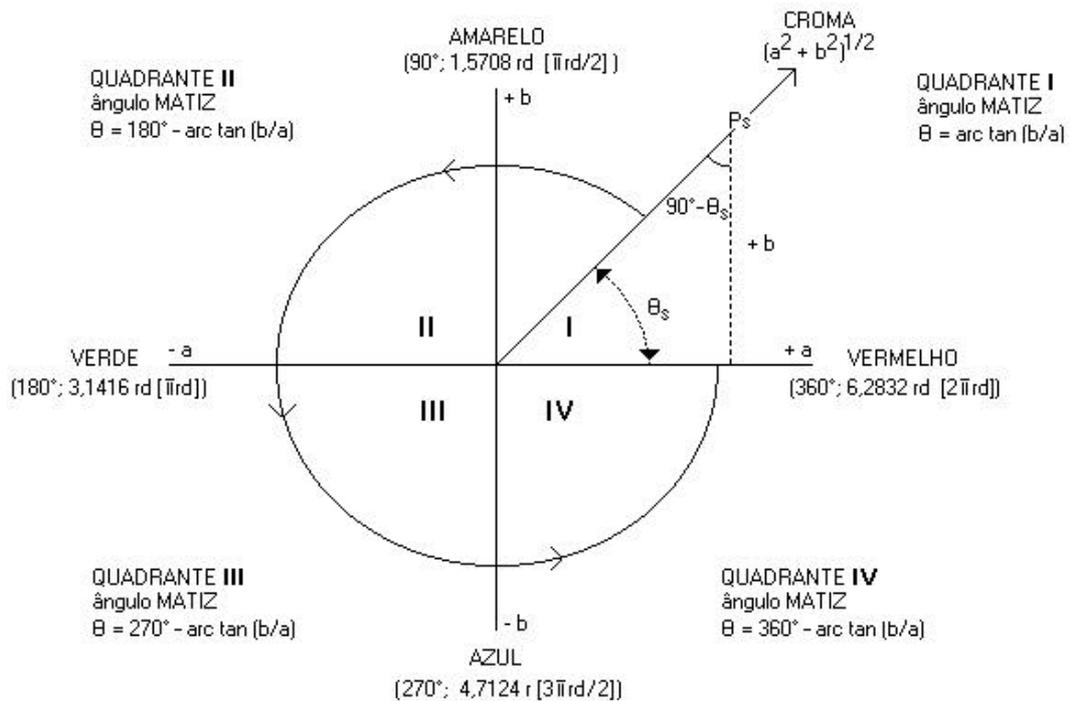


Figura 3 – Descrição do ângulo de matiz (hue) e índice de saturação no diagrama do sistema Hunter **Lab**, no plano a-b (McLellan *et al.*, 1995).

2.7 Contaminação por microrganismos

Segundo Scussel (2002) os fungos, inclusive os toxigênicos, podem contaminar e se desenvolver nos grãos no campo, durante a colheita e na armazenagem. Os fatores que favorecem esse desenvolvimento e a produção de micotoxinas são classificados em três categorias: físicos, químicos e biológicos. Eles estão relacionados com as condições do próprio grão e do ambiente que o envolve. Os mais importantes dentre eles são: teor de água do grão, umidade relativa e temperatura do ar, linhagem do fungo contaminante e competição microbiana.

O período de armazenagem, impurezas (restos da planta, poeira, casca e pedaços de grãos), luz, insetos e ácaros, condições dos grãos (grãos com danos mecânicos e/ou visualmente alterados), microclima (oxigênio), fungicidas, composição do substrato, variedades resistentes e o grau de contaminação podem favorecer a proliferação de fungos e formação de micotoxinas (Scussel, 2002).

Em termos de umidade (umidade relativa do ar – UR e conteúdo de água do grão), os fungos são classificados em: (a) fungos de campo – aqueles que contaminam os grãos ou sementes antes da colheita, ou seja, no período de crescimento e na maturação, com conteúdo de água em torno de 25 % b.u. e em umidade relativa do ar de 90 a 100 %. Os fungos dos gêneros *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Helminthosporium* são os mais comuns; (b) fungos de armazenamento – aqueles que se desenvolvem em grãos com teor de água abaixo de 17 % b.u., ou seja, quando o teor de água do grão está em equilíbrio com a umidade relativa do ar na faixa de 65 a 85 %. Estes fungos, principalmente os dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* não se desenvolvem em produtos com teor de água superior a 25 % b.u.. Os fungos mais comuns e que causam deterioração dos grãos armazenados são: *Aspergillus amstelodami*, *A. candidus*, *A. flavus*, *A. glaucus*, *A. halophilicus*, *A. ochraceus*, *A. parasiticus*, *A. repens*, *A. restrictus*, *A. ruber*, e algumas espécies do gênero *Penicillium* (Silva *et al.*, 2000a; Scussel, 2002).

Micotoxinas são metabólitos secundários resultantes do metabolismo de alguns fungos filamentosos que se proliferam em alimentos, em rações animais e, principalmente, em grãos. Como contaminantes tóxicos, despertam grandes preocupações desde 1960, sendo reconhecidas como potencial ameaça para a saúde humana e animal, além de provocarem perdas econômicas devido à deterioração de alimentos (Betina, 1984).

A ocratoxina A (OTA) foi detectada pela primeira vez em grãos de sorgo contaminados com *Aspergillus ochraceus* K-804 por SCOTT, em 1965. A primeira espécie de *Penicillium* produtor de ocratoxina A foi estudada por Van Walbeek, em 1969, e identificada como *Penicillium viridicatum* (Betina, 1984).

Os fatores que regulam o crescimento e a produção de OTA são: a atividade de água (a_w), a composição química do substrato e a temperatura (Joosten *et al.*, 2001). Grandes quantidades de OTA podem ser produzidas à umidade relativa do ar de 100 % e temperatura de 25 °C.

O *Aspergillus ochraceus* desenvolve-se a temperaturas de 8 a 37 °C, com ótimo entre 24 e 37 °C (Sweeney e Dobson, 1998). Já a produção de ocratoxina A ocorre entre 12 e 37 °C. O pH ótimo de desenvolvimento varia entre 3 e 10, enquanto a a_w ótima para o crescimento e a produção de ocratoxina A são semelhantes, variando entre 0,95 e 0,99. No entanto, *A. ochraceus* é um organismo xerofílico, capaz de crescer a valores de a_w menores do que 0,77 (Sweeney e Dobson, 1998).

O efeito de diferentes métodos de processamento do café, no desenvolvimento de fungos e produção de ocratoxina, foi avaliado por Suárez-Quiros *et al.* (2004), os quais relataram que a ocorrência de fungos toxigênicos não foi afetada pelo método utilizado na preparação do café no processo de secagem. Nas diversas fases do processamento, os autores verificaram que no café beneficiado, além de ter sido detectada a contaminação por ocratoxina, a incidência de fungos foi menor do que a observada no pergaminho e no café cereja. Antes da secagem, a incidência de fungos no café foi considerada baixa, confirmando os resultados obtidos por outros autores (Frank, 1999; Bucheli *et al.*, 2000). Este comportamento, atribuído à presença de bactérias, leveduras e outros fungos, que adaptados às condições de alta umidade, provavelmente, inibiram o desenvolvimento das espécies de fungos toxigênicos, não ocorreu no estudo por Urbano *et al.* (2001) com amostras de café obtidas em diferentes regiões produtoras do Brasil.

O controle do *A. ochraceus* em grãos armazenados consiste na adoção de métodos convencionais de prevenção de fungos em alimentos secos. Os grãos devem ser secados com rapidez e uniformidade e mantidos nessa condição. A umidade dos grãos deve ser reduzida para que se alcance uma a_w abaixo de 0,8 a fim de evitar a produção da toxina. Outras medidas efetivas para o armazenamento dos grãos incluem práticas de fumigação, separação dos grãos, aeração, resfriamento, armazenagem hermética e uso de atmosfera controlada, especialmente em regiões tropicais e

subtropicais onde os danos provocados por microrganismos são problemáticos (Scussel, 2002).

Além da produção de micotoxinas, a presença de microrganismos nos grãos de café acarreta outros danos (Silva *et al.*, 2000a). Alguns são capazes de secretar enzimas pectinolíticas que degradam a camada mucilaginosa presente nos grãos durante a fermentação, ocorrendo a produção de produtos como etanol, ácido acético, ácido butírico, ácido lático e outros ácidos carboxílicos, que se difundem provocando a má qualidade do produto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições gerais

O experimento foi montado em uma fazenda localizada no município de São Miguel do Anta, Estado de Minas Gerais (Figura 4).

Foi utilizado café cereja, da variedade Catuaí, colhido pelo método de derricha manual sobre pano, no período entre maio e julho de 2004. O teor inicial de água dos frutos foi, aproximadamente, 60 % b.u., contendo, em massa, 68 % de frutos maduros, 16 % de frutos verdes e verdoengos e 16 % de frutos secados na planta.

Utilizou-se um experimento de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um esquema fatorial 6 x 2 e nas subparcelas quatro avaliações, com três repetições. Foram utilizadas seis condições de secagem e duas formas de cobertura dos lotes armazenados, avaliadas em quatro períodos de tempo no decorrer do armazenamento.

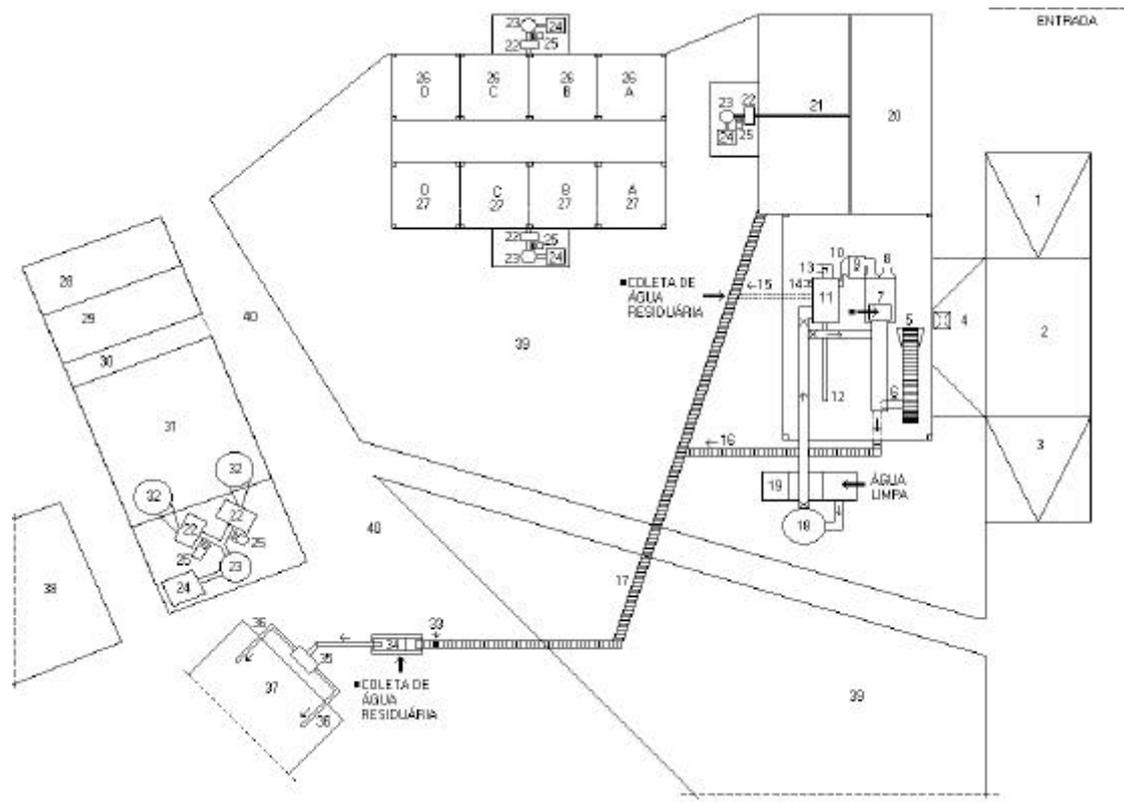
Quanto às formas de secagem:

Secagem A – secagem completa em terreiro pavimentado com argamassa de cimento, com exposição direta à radiação solar global até o teor de água de 12 % b.u.;

Secagem B – secagem completa em terreiro pavimentado com argamassa de cimento, sem exposição direta à radiação solar global até o teor de água de 12 % b.u.;

Secagem C – meia-seca em terreiro pavimentado com argamassa de cimento, com exposição direta à radiação solar global até o teor de água de 35 % b.u., complementando-se a secagem em secador de leito fixo, em leira, até 12 % b.u.;

Secagem D – meia-seca em terreiro pavimentado com argamassa de cimento, sem exposição direta à radiação solar global até o teor de água de 35 % b.u., complementando-se a secagem em secador leito fixo, em leira, até 12 % b.u.;



Legenda da Figura 4

■→ coleta de água residuária;

1 – Rampa de entrada;

2 – Plataforma;

3 – Rampa de saída;

4 – Moega de recepção;

5 – Fita transportadora;

6 – Condutor de café;

7 – Lavador/separador;

8 – Saída de frutos leves (bóias);

9 – Saída de frutos pesados (cerejas verdes);

10 – Moega com elevador de canecas para conduzir os frutos ao descascador/despulpador/desmucilador;

11 – Descascador/despulpador/desmucilador;

12 – Transportador de casca;

13 – Café verde, separado por densidade;

14 – Café cerejeira descascado/despulpado/desmucilado;

15 – Escoamento da água do descascador/despulpador/desmucilador;

16 – Escoamento da água do lavador/separador;

17 – Escoamento da água residuária dos frutos do cafeeiro;

18 – Tanque elevado de água (5000 L);

19 – Depósito de água (9000 L);

20 – Secador de leite fixo, em leira (área descoberta);

21 – Duto de ar;

22 – Ventilador;

23 – Filtro;

24 – Forno a lenha;

25 – Motor;

26 – Secador de leite fixo, em leira (área coberta);

26 A a D – Módulos de secagem (3000 L);

27 – Secador de leite fixo, em leira (área coberta);

27 A a D – Módulos de secagem (3000 L);

28 – Armazém para insumos;

29 – Sala de Administração e Laboratório de Controle de Qualidade;

30 – Área de estacionamento do trator;

31 – Área de armazenamento café em sacos;

32 – Silo secador;

33 – Filtro;

34 – Desarenador/sedimentador;

35 – Caixa de distribuição;

36 – Condutor de distribuição de água residuária;

37 – Lagoa anaeróbica;

38 – Área de compostagem;

39 – Terreiro cimentado;

40 – Área de circulação.

Figura 4 – Croqui da Unidade de Processamento do Café. Fazenda Morro dos Padeiros. São Miguel do Anta – MG.

Secagem E – secagem completa em secador leito fixo, em leira, até 12 % b.u.; e,

Secagem F – secagem em secador leito fixo, em leira, até o teor de água entre 18 e 25 % b.u., complementando-se a secagem em silo secador.

Após o processo de secagem, o café foi acondicionado em sacos novos de rafia, colocados sobre estrado de madeira protegido com lona plástica e, quanto à cobertura no decorrer do armazenamento, considerou-se:

Cobertura 1 – lona plástica amarela envolvendo sacos de rafia contendo café em pergaminho;

Cobertura 2 – ausência de lona plástica (Figura 5);

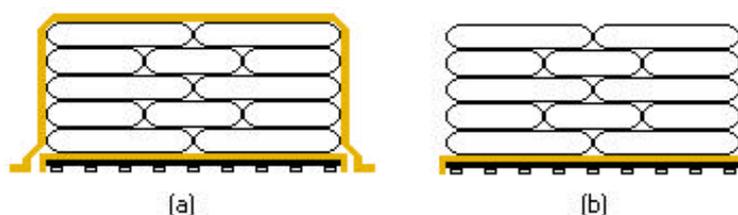


Figura 5 – (a) sacos de café cobertos com lona plástica; (b) sem cobertura plástica.

O Quadro 1 contém as combinações entre os tipos de secagem e as formas de cobertura para que as avaliações fossem realizadas nos períodos de 0, 45, 90 e 135 dias, atribuídas como testes experimentais de A1 a F2.

Quadro 1 – As combinações dos testes experimentais em função da secagem e da cobertura

SECAGEM	COBERTURA	TESTE EXPERIMENTAL
A	1	A1
A	2	A2
B	1	B1
B	2	B2
C	1	C1
C	2	C2
D	1	D1
D	2	D2
E	1	E1
E	2	E2
F	1	F1
F	2	F2

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Os modelos, para análise quantitativa, foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de

regressão utilizando-se o teste t, adotando o nível de até 5 % de probabilidade no coeficiente de determinação ($r^2 = \frac{SQ_{REG}}{SQ_{TRAT}}$) em cada fenômeno analisado.

Foi estabelecida a regressão linear de Y em função de X e, considerando a equação $y = \alpha + \beta x$, foram estimados os parâmetros α e β fornecidos pela amostra, utilizando-se a equação $\hat{Y} = a + bT$. Considerou-se que **a** foi a estimativa do parâmetro **a** e **b**, chamado de coeficiente de regressão linear, a estimativa de **b**.

3.2 Análise da água residuária gerada durante o preparo dos frutos do cafeeiro lavados, descascados e despulpados

A água disponível para a lavagem dos frutos do cafeeiro, captado por gravidade, foi fornecida por meio do corpo receptor (lagoa) próximo à unidade de processamento e distribuído por meio de bombeamento para o lavador/separador mecânico, o descascador, o despulpador e o desmucilador.

Foram coletadas amostras da água utilizada no processo de lavagem no depósito de água (nº 19, Figura 4), no reservatório de água do lavador/separador mecânico, antes e após a entrada dos frutos (nº 7, Figura 4), durante as operações de descascamento, despulpa e desmucilagem (nº 15, Figura 4) e, na saída do escoamento da água (nº 34, Figura 4).

Foram processados aproximadamente 10.000 litros de frutos por dia. No processo de lavagem foi demandado um volume médio de 0,15 L de água para cada litro de fruto, necessitando 1.500 L de água por dia no lavador/separador mecânico. Inicialmente foi demandado um volume médio de 12.000 litros de água para 4.000 litros de frutos processados, posteriormente 18.000 litros de água para 6.000 litros de frutos processados, portanto, considerando a recirculação de água, foram gastos 30.000 litros de água por dia no despulpador/desmucilador. Então, foram utilizados 31.500 L de água por dia no processamento dos frutos do cafeeiro.

As amostras de água residuária foram colocadas em uma caixa de isopor contendo gelo e encaminhadas imediatamente para o Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, para a realização das análises.

As determinações de DBO e de DQO foram realizadas seguindo a metodologia apresentada no Standard Methods... (Apha, 1998), sendo a DBO obtida pela determinação do oxigênio dissolvido pelo método iodométrico e a DQO pelo método do refluxo aberto. Para determinação da condutividade elétrica (CE) e pH, foi utilizado um condutivímetro digital da marca Orion, modelo 125; e um medidor de pH, da marca Digimed, modelo DM-21, respectivamente. A metodologia apresentada por Braile e Cavalcanti (1979) e Apha (1998) foi utilizada para a determinação de sólidos totais (ST) e sólidos em suspensão (SP). A concentração de N-total foi determinada em alíquota de 10 mL, pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1985). Alíquotas de 10 mL da amostra foram digeridas com 5 mL de solução nítrico-perclórica (proporção de 3 mL de ácido para cada mL de ácido perclórico). Nos extratos obtidos, foram determinadas as concentrações de sódio e potássio totais por fotometria de emissão de chama e as de fósforo total por colorimetria, utilizando-se o método do ácido ascórbico modificado (Braga e Defelipo, 1974).

A água, utilizada na lavagem, separação, descascamento e desmucilagem dos frutos de cafeeiro, foi coletada no depósito de água (nº 19, Figura 4) e avaliada quanto ao conteúdo de coliformes fecais e totais por meio do sistema de auto-análise, que detectou e quantificou a presença desses microrganismos em 24 horas. O teste foi realizado adicionando-se à amostra um substrato comercial (Colilert ou ONPG-MUG) que conteve enzimas específicas para interação com grupos de bactérias específicas (Matos, 2004).

3.3 Processo de secagem

Na secagem em terreiro o café cereja descascado, despulpado e desmucilado foi espalhado, durante o dia, em camadas que variavam de 2 a 6 cm. No início da operação, quando o teor de água dos grãos era elevado, a espessura da camada de grãos foi mantida delgada, aumentando a sua espessura conforme prosseguiu a secagem. Em intervalos de tempo regulares, o produto foi revolvido, manualmente, com o auxílio de um rodo, sempre alternando a direção do revolvimento conforme a posição do sol.

Utilizou-se um secador de leito fixo, cuja vazão específica do ar de secagem foi de $5,8 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-3}$. O café secado em leito fixo, em leira, foi revolvido em intervalos

regulares de 2 horas, estabelecendo-se, aproximadamente, 12 horas de repouso no período noturno.

A Tabela 3 contém o número total de dias necessários para a conclusão do processo de secagem para os testes experimentais de A a F.

Tabela 3 – Número total de dias de secagem, para os testes experimentais de A a F, considerando as condições: completa com luz, completa sem luz, meia-seca com luz, meia-seca sem luz, secador de leito fixo, em leira, e silo secador

Secagem	Dias						Total
	Completa com luz	completa sem luz	meia-seca com luz	meia-seca sem luz	secador leito fixo*	silo secador	
A	14	-	-	-	-	-	14
B	-	30**	-	-	-	20**	50
C	-	-	12	-	2	-	14
D	-	-	-	12	2	-	14
E	-	-	-	-	2	-	2
F					1***	+7	+8

* estabelecendo-se, aproximadamente, 12 horas de repouso no período noturno, exceto na secagem F.

** secagem até 28 % b.u., com complementação em silo secador até 12 % b.u.

*** secagem em secador leito fixo, em leira, até o teor de água entre 18 e 25 %, para término da secagem em silo secador, armazenado por mais de sete dias.

3.4 Armazenamento do café

Os grãos de café foram acondicionados em sacos novos de ráfia, com 30 kg de capacidade, e armazenados em armazém convencional medindo 11,5 m de largura por 24,80 m de comprimento, com pé direito de cinco metros, construído de alvenaria e estrutura metálica. O armazém foi aberto diariamente a partir das oito até as 17 horas a fim de que houvesse circulação e renovação do ar ambiente circulante.

A disposição dos testes experimentais foi aleatória, sobre o estrado de madeira, tanto para a condição coberta como descoberta, de acordo com a Figura 5, conforme o conteúdo da Tabela 4.

As amostras foram coletadas durante 135 dias, em intervalos de 45 dias, com o auxílio de calador CM 2260 7/8 x 60 cm, de tal forma que os grãos pudessem ser amostrados vertical e longitudinalmente.

Tabela 4 – Disposição dos sacos café, em pergaminho, no armazém, em função da secagem e da cobertura com lona plástica

Secagem	Cobertura	
	Sim (1)	Não (2)
A	7	6
B	9	9
C	13	12
D	4	5
E	13	14
F	8	8
Subtotal	54	54
Total	108 sacos	

3.5 Teor de água dos grãos, umidade e temperatura do ar ambiente

Para a determinação do final da secagem, monitorou-se o teor de água dos grãos beneficiados utilizando-se o método indireto, por meio de um aparelho, cujo princípio de funcionamento foi por capacitância elétrica. A secagem foi interrompida quando a média do teor final de água variou entre 11 e 12 % b.u.

Posteriormente à disposição dos lotes no armazém, o teor de água do café beneficiado foi monitorado utilizando-se os métodos direto e indireto. Foi utilizado o método direto, com circulação forçada de ar a 103 ± 2 °C, durante 72 horas, com três repetições, e amostras contendo aproximadamente 30 g, conforme às normas estabelecidas pela “American Association of Cereal Chemists” (Lacerda Filho, 1986). No indireto, utilizou-se um aparelho para medição indireta de água cujo princípio de funcionamento foi por capacitância elétrica.

A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente do armazém foram monitoradas utilizando-se um termohigrógrafo, cuja carta gráfica foi substituída semanalmente durante 135 dias. O armazém foi aberto diariamente, a fim de permitir a realização de outras tarefas pertinentes ao funcionamento da fazenda. As leituras foram realizadas a partir do início do dia 13 de agosto e findaram no dia 31 de dezembro.

3.6 Equilíbrio higroscópico

Em função da necessidade de estudar o equilíbrio higroscópico do café, adotou-se o modelo matemático proposto por Chung e Pfof (1967), posteriormente modificada por Pfof et al. (1976). Para estimar os valores de umidade de equilíbrio e umidade relativa de equilíbrio foram utilizadas as equações 1 e 2:

$$U_e = a - b \cdot \{\ln[-(T + c) \cdot \ln(UR)]\} \quad (1)$$

$$UR_e = \exp \left\{ \frac{-\exp \left(-\frac{(U_e - a)}{b} \right)}{(T + c)} \right\} \quad (2)$$

sendo

U_e – umidade de equilíbrio dos grãos (decimal b.s.);

UR_e – umidade relativa de equilíbrio dos grãos (decimal);

a, b, c – constante que depende do produto;

T – temperatura do ar, (° C);

UR – umidade relativa do ar (decimal).

Foram utilizadas, para as mesmas equações, as constantes de:

a) Silva et al. (2000a), para $a = 0,350$; $b = 0,058$; $c = 50,555$; e,

b) Afonso Júnior (2001), para $a = 0,5901$, $b = 0,1466$ e $c = - 7,7993$.

Foram utilizados valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, diários e mensais, durante a obtenção de dados no decorrer da execução deste experimento.

3.7 Classificação

3.7.1 Prova de xícara (análise sensorial)

Os grãos foram beneficiados, selecionados manualmente, e encaminhados para a Cafeteira Incofex, situada em Viçosa, MG, para a realização da prova de xícara e de classificação (tipo) de acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Cru, instituído por meio da Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003, classificando-o em categoria, subcategoria, grupo, subgrupo, classe e tipo, segundo a espécie, formato do grão e a granulometria, o aroma e o sabor, a bebida, a cor e a qualidade, respectivamente (Brasil, 2003).

Quanto ao sabor e aroma, o café foi classificado como Grupo I (arábica) e definido por meio de prova de xícara, utilizando-se definições de subgrupos assim discriminados:

Bebidas Finas do Grupo I - Arábica.

Estritamente mole: café que apresenta, em conjunto, todos os requisitos de aroma e sabor "mole", porém mais acentuado;

Mole: café que apresenta aroma e sabor agradável, brando e adocicado;

Apenas mole: café que apresenta sabor levemente doce e suave, mas sem adstringência ou aspereza de paladar;

Duro: café que apresenta sabor acre, adstringente e áspero, porém não apresenta paladares estranhos.

Bebidas Fenicadas do Grupo I - Arábica.

Riado: café que apresenta leve sabor, típico de iodofórmio;

Rio: café que apresenta sabor típico e acentuado de iodofórmio;

Rio Zona: café que apresenta aroma e sabor muito acentuado, assemelhado ao iodofórmio ou ao ácido fênico, sendo repugnante ao paladar (BRASIL, 2003).

A Cafeteira Incofex adotou critérios numéricos para a classificação quanto ao sabor e aroma. Foram utilizadas notas que, compreendidas em determinado intervalo, caracterizaram os diferentes grupos de bebida fina do grupo I. Então, os valores adotados foram:

- a) valores acima de 90 – estritamente mole (EM);
- b) de 80 a 90 – mole (M);
- c) de 70 a 80 – apenas mole (AM); e,
- d) abaixo de 70 – dura (D).

3.7.2 Quanto ao tipo

A classificação quanto ao tipo foi equivalente ao número de defeitos encontrados e identificado de acordo com a sua posição na tabela de classificação do café (Brasil, 2003).

Foram elaboradas tabelas a partir dos dados fornecidos pela Cafeteira Incofex e utilizados valores médios de três repetições para cada amostra, durante o período de avaliação de 135 dias. As tabelas foram constituídas pelos atributos: peneira 17/18 (P17/18 - %), peneira 16 (P16 - %), peneira 13/15 (P13/15 - %), fundo de peneira (FDO

%), catação (%), quebra (%), defeito (valor absoluto), umidade (% b.u.). Para os valores atribuídos à quebra foram considerados a soma do fundo de peneira e catação, com resultados em percentual.

Os testes experimentais A1 a E2, em pergaminho e beneficiados, foram submetidos a seleção parcial, quanto à retirada de pretos, verdes e ardidos, durante o processo de secagem e beneficiamento, sendo adotado o tipo de maior valor. Os testes F1 e F2 não foram submetidos ao processo de seleção parcial durante a secagem, adotando-se o tipo de maior valor.

3.8 Análise de cor

As análises de cor foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola – UFV/CENTREINAR, em Viçosa, MG.

A quantificação da cor dos grãos de café, inteiros e beneficiados, foi efetuada pela leitura direta de reflectância das coordenadas L^* , a^* e b^* , utilizando o colorímetro HUNTER LAB, escala CIE $L^* a^* b^*$, para o iluminante D60 e observador 10°. Para cada repetição, de todos os tratamentos estudados, foi utilizada a média de três determinações.

Considerando a e b como variáveis dependentes, os resultados foram analisados de acordo com funções trigonométricas, sendo v_s (ângulo de matiz) = $\tan^{-1} b/a$, e croma = $(a^2 + b^2)^{1/2}$ (Little, 1975).

3.9 Contaminação por microrganismos

As amostras, constituídas de 300 g de café, para os testes experimentais de A1 a F2, foram submetidas à análise no Laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, para a detecção e identificação de fungos de acordo as técnicas descritas por Dhingra e Sinclair, (1996).

Foi utilizado o método de plaqueamento em caixas gerbox, utilizando-se papel tipo Blotter umedecidos com água salina a 7,5 %, as quais foram incubados 100 grãos obtidos de cada teste experimental, dispostos em três placas de Petri com meio de cultura, após esterilização da superfície do grão (imersão em solução de hipoclorito de sódio), sob a temperatura de 25 °C, durante sete dias. Depois desse período, as placas

foram examinadas em microscópio estereoscópico para identificação de fungos toxigênicos, com ênfase nas espécies *A. ochraceus*, *A. carbonarius* e *P. verrucosum* (= *P. viridicatum*).

As amostras foram submetidas às avaliações quanto ao número de esporos de fungos na superfície dos grãos em pergaminhos e quanto ao percentual de colonização por microrganismos contidos no grão e no pergaminho (casca), separadamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física, química e bioquímica da água no processo de lavagem, despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro.

A água utilizada no pré-processamento e no processamento dos frutos do cafeeiro foi previamente analisada antes de iniciar o experimento, foi observando-se a contaminação de coliformes fecais e totais, resultando em 248,1 NMP/100 mL e 96 NMP/100 mL, respectivamente, indicando que a água utilizada pode ser fonte de contaminação para os grãos.

A água coletada no depósito nº 18 (Figura 4), apresentou DQO de 18,68 mg L⁻¹, zero de DBO e 0,88; 4,20 e 9,70 mg L⁻¹ de fósforo total, sódio total e potássio total respectivamente.

A Tabela 5 contém os resultados das amostras de água residuária provenientes da lavagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) que foi submetida a análises físicas e na Tabela 6 a análises químicas e bioquímicas. Observou-se que na água de abastecimento não foi constatada a presença de sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos em suspensão, sólidos fixos e sólidos voláteis, mostrando ter potencial para sua utilização. Já no reservatório do equipamento, mesmo tendo sido introduzida água limpa, foi observada a presença de sólidos totais, sólidos em suspensão, sólidos fixos e sólidos voláteis, em função da limpeza ineficaz realizada no recipiente de lavagem.

Tabela 5 – Resultados das análises físicas de amostras de água residuária da lavagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Função	CE	SP	ST	SS	SF	SV
	dS m ⁻¹	mL L ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----			
Água de abastecimento	0,023	-	-	-	-	-
Reservatório, água limpa	0,020	-	154	6	18	136
Reservatório do lavador 2	0,344	50	3.255	867	984	2.271
Reservatório do lavador 3	0,599	80	5.038	2.430	898	4.140

Sendo: **Água de abastecimento** – amostra do reservatório de água (nº 19, Figura 4); **Reservatório, água limpa** – amostra da água contida no reservatório de água do equipamento antes de iniciar a lavagem dos frutos (nº 7, Figura 4); **Reservatório do lavador 2** – amostra da água contida no reservatório de água do equipamento, desligado, após a lavagem, tendo sido lavado o volume médio de 4.000 litros de fruto (nº 7, Figura 4); Reservatório do lavador 3 – amostra da água contida no reservatório de água do equipamento, desligado, após a lavagem, tendo sido lavado o volume médio de 6.000 litros de fruto na segunda lavagem (água de recirculação) (nº 7, Figura 4). **CE** – condutividade elétrica; **SP** – Sólidos Sedimentáveis; **ST** – Sólidos Totais; **SS** – Sólidos em Suspensão; **SF** – Sólidos Fixos; **SV** – Sólidos Voláteis.

Tabela 6 – Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da lavagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Função	pH	DQO	DBO	N _T	P _T	K _T	Na _T
		-----mg L ⁻¹ -----					
Água de abastecimento	6,1	18,68	0,00	-	0,88	9,70	4,20
Reservatório, água limpa	6,2	18,68	9,68	0,24	0,26	8,90	2,50
Reservatório do lavador 2	5,5	5.604,00	513,72	54,64	12,00	48,60	15,70
Reservatório do lavador 3	5,5	6.582,76	1.886,62	74,73	14,87	77,10	23,20

Sendo: **Água de abastecimento** – amostra do reservatório de água (nº 19, Figura 4); **Reservatório, água limpa** – amostra da água contida no reservatório de água do equipamento antes de iniciar a lavagem dos frutos (nº 7, Figura 4); **Reservatório do lavador 2** – amostra da água contida no reservatório de água do equipamento, desligado, após a lavagem, tendo sido lavado o volume médio de 4.000 litros de fruto (nº 7, Figura 4); Reservatório do lavador 3 – amostra da água contida no reservatório de água do equipamento, desligado, após a lavagem, tendo sido lavado o volume médio de 6.000 litros de fruto na segunda lavagem (água de recirculação) (nº 7, Figura 4). **pH** – Potencial Hidrogeniônico; **DQO** – Demanda Química de Oxigênio; **DBO** – demanda bioquímica de oxigênio; **N_T** – Nitrogênio Total; **P_T** – Fósforo Total; **K_T** – Potássio Total; **Na_T** – Sódio Total.

Os reservatórios nº 07, do lavador separador, e nº 19 (abastecimento) da Figura 4 continuam, inicialmente, água limpa proveniente do abastecimento. Entretanto observou-se uma condutividade elétrica de 0,023 dS m⁻¹ no depósito nº 19 e 0,020 dS m⁻¹ no depósito nº 07, antes do início da lavagem, em virtude de não ter, possivelmente, sido devidamente higienizado. Obteve 154 mg L⁻¹ de sólidos totais no reservatório de água do equipamento, indicando haver matéria orgânica e a necessidade de uma limpeza mais eficaz.

O processamento de 4.000 L de frutos aumentou a quantidade de sólidos totais de 154 para 3.255 mg L⁻¹. Posteriormente, com 6.000 L de frutos, este valor foi aumentado para 5.038 mg L⁻¹, revelando ser um material rico em compostos orgânicos e

que podem contribuir para a contaminação da água utilizada para a lavagem e separação dos frutos.

Tanto a condutividade elétrica quanto o conteúdo de sólidos totais obtiveram aumento significativo no decorrer das lavagens. A disponibilização de 50 a 80 mg L⁻¹ de sólidos sedimentáveis indicou haver maior quantidade de resíduos, podendo impossibilitar o uso desta água em maior número de vezes.

O pH da água residuária do café apresentou-se ácido, na faixa de 5,3 a 6,1, (Tabelas 6, 8 e 10) enquanto que o da água de abastecimento (nº 19, Figura 4) foi de 6,1. No decorrer das avaliações observou-se diminuição dos valores do pH ao reabastecer com água limpa do depósito nº 19 (Figura 4), durante as etapas do processamento.

Análises conduzidas em laboratórios indicaram que a água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro possuíam DBO em torno de 6.000 mg L⁻¹, valor muito acima do permitido pela Legislação Ambiental do Estado de Minas Gerais, 60 mg.L⁻¹, segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 10/86.

A água de abastecimento continha 9,70; 4,20; 0,88 e 0 mg L⁻¹ de potássio total, sódio total, fósforo total e nitrogênio total, respectivamente. Em consequência do volume de frutos processados, esses valores aumentaram a cada etapa realizada. Tanto os resultados obtidos no reservatório do lavador 2, quanto no 3, foram superiores ao da água de abastecimento. Devido à sua constituição, segundo Matos (2005), as águas residuárias podem produzir compostos orgânicos para posterior aproveitamento agrícola.

Na Tabela 7, encontram-se os resultados das análises físicas das amostras de água residuária provenientes do descascamento, despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (*C. arabica* L.) e, na Tabela 8 os resultados das análises químicas e bioquímicas.

Em virtude da adição ocasional da água de abastecimento, houve redução significativa da condutividade elétrica, dos sólidos sedimentáveis, totais, em suspensão, fixos e voláteis, DQO, DBO, nitrogênio total, fósforo total, potássio total, sódio total, exceto o pH. (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – Resultados das análises físicas de amostras de água residuária do descascamento, despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Função	CE	SP	ST	SS	SF	SV
	dS m ⁻¹	mL L ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----			
Água de abastecimento	0,023	-	-	-	-	-
Desp./Desmuc. 1	1,090	850	16.507	2.647	1.406	15.101
Desp./Desmuc. 2	0,047	2	10.627	177	10.109	518
Desp./Desmuc. 3	0,800	900	14.827	2.780	1.210	13.617

Sendo: **Água de abastecimento** – amostra do reservatório de água (nº 19, Figura 4); **Desp./Desmuc. 1** – amostra da água liberada pelo descascador/despulpador/desmucilador após 30 minutos de operação, tendo sido processado o volume médio de 4.000 L de frutos no primeiro descascamento/ despulpamento/ desmucilamento (nº 15, Figura 4); **Desp./Desmuc. 2** – amostra da água do descascador/ despulpador/ desmucilador considerando mais de 30 minutos de operação, com abertura do registro da água do reservatório, tendo sido processado 4.000 L de frutos no primeiro descascamento/ despulpamento/ desmucilamento (nº 15, Figura 4); **Desp./Desmuc. 3** – amostra da água liberada pelo descascador/ despulpador/desmucilador após 30 minutos de operação, tendo sido processado o volume médio de 6.000 L de fruto, no segundo descascamento/despulpamento/desmucilamento (água recirculada) (nº 15, Figura 4). **CE** – condutividade elétrica; **SP** – Sólidos Sedimentáveis; **ST** – Sólidos Totais; **SS** – Sólidos em Suspensão; **SF** – Sólidos Fixos; **SV** – Sólidos Voláteis.

Conforme a Tabela 7, o processamento de 4.000 L de frutos no desp./desmuc. 1 proporcionou valores muito maiores que os da água de abastecimento, em apenas 30 minutos de operação, enquanto que no desp./desmuc. 2, com a adição ocasional de água, os valores foram reduzidos, indicando ter ocorrido diluição dos sólidos sedimentáveis, totais, em suspensão, fixos, voláteis, além da diminuição da condutividade elétrica.

No desp./desmuc. 3, utilizando 6.000 L de frutos, e água de recirculação, houve novamente o aumento considerável dos valores referentes às características físicas observadas, mostrando ser esta água rica em produtos orgânicos, altamente poluente ao ambiente.

Matos (2005) encontrou aumento no potencial poluente da água conforme foi recirculada durante a despolpa de frutos do cafeeiro, porém, neste trabalho, o não aumento da carga orgânica com a recirculação, foi devido à adição da água do abastecimento (nº 19, Figura 4) durante o processamento dos frutos, o que proporcionou diluição dos poluentes e diminuiu a concentração dos mesmos na água, proporcionando aumento no volume de água utilizada.

Tabela 8 – Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária da despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Função	pH	DQO	DBO	N _T	P _T	K _T	Na _T
		mg L ⁻¹					
Água de abastecimento	6,1	18,68	0,00	-	0,88	9,70	4,20
Desp./Desmuc. 1	5,4	18.680,00	6.384,43	167,95	22,59	157,00	45,60
Desp./Desmuc. 2	6,1	5.090,30	2.222,76	2,77	1,61	11,90	4,70
Desp./Desmuc. 3	5,3	18.066,36	5.005,72	163,13	21,87	157,00	58,00

Sendo: **Água de abastecimento** – amostra do reservatório de água (nº 19, Figura 7); **Desp./Desmuc. 1** – amostra da água liberada pelo descascador/despolpador/desmucilador após 30 minutos de operação, tendo sido processado o volume médio de 4.000 L de frutos no primeiro descascamento/ despulpamento/ desmucilamento (nº 15, Figura 7); **Desp./Desmuc. 2** – amostra da água do descascador/ despulpador/ desmucilador considerando mais de 30 minutos de operação, com abertura do registro da água do reservatório, tendo sido processado 4.000 L de frutos no primeiro descascamento/ despulpamento/ desmucilamento (nº 15, Figura 7); **Desp./Desmuc. 3** – amostra da água liberada pelo descascador/ despulpador/desmucilador após 30 minutos de operação, tendo sido processado o volume médio de 6.000 L de fruto, no segundo descascamento/despulpamento/desmucilamento (água recirculada) (nº 15, Figura 7). **pH** – Potencial Hidrogeniônico; **DQO** – Demanda Química de Oxigênio; **DBO** – demanda bioquímica de oxigênio; **N_T** – Nitrogênio Total; **P_T** – Fósforo Total; **K_T** – Potássio Total; **Na_T** – Sódio Total.

Comparando as Tabelas 5 e 6 com as Tabelas 7 e 8 foi possível observar incrementos nos valores resultantes do estudo das características físicas, químicas e bioquímicas, da água residuária produzida no processamento dos frutos do cafeeiro, em virtude da constituição química do produto e da alta produção de constituintes orgânicos.

Conforme a Tabela 9, a água originada do lavador e do desp./desmuc. 1, confirmou o descrito nas Tabelas 5 e 7 em que houve aumento de condutividade elétrica, de sedimentáveis e totais, indicando haver grande quantidade de resíduos. No item lavador e desp./desmuc. 2 houve a diluição dos elementos estudados em função da adição ocasional da água de abastecimento o que, também, confirmou a descrição das Tabelas 4 e 6.

Os valores contidos na Tabela 10, bem com os da Tabela 9, permitiram observar incrementos nos valores de DBO, DQO, nitrogênio total, fósforo total, potássio total e sódio total e maior acidez, quando comparadas às Tabelas 6 e 8.

Tabela 9 – Resultados das análises físicas de amostras de água residuária da na fase final de lavagem dos frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Função	CE	SP	ST	SS	SF	SV
	dS m ⁻¹	mL L ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----			
Água de abastecimento	0,023	-	-	-	-	-
Lavador + Desp/desm. 1	1,247	850	18.881	3.633	3.594	15.287
Lavador + Desp/desm. 2	1,008	345	12.826	2.640	1.267	11.559

Sendo: **Água de abastecimento** – amostra do reservatório de água (nº 19, Figura 4); **Lavador + Desp/desm. 1** – amostra da água proveniente da lavagem, descasque, despolpa e desmucilagem de 4.000 L de frutos, coletada no desarenador/sedimentador (nº 34, Figura 4). **Lavador + Desp/desm. 2** – amostra da água proveniente da lavagem, descasque, despolpa e desmucilagem de 6.000 L de frutos utilizando água recirculada, coletada no desarenador/sedimentador (nº 34, Figura 4). **CE** – condutividade elétrica; **SP** – Sólidos Sedimentáveis; **ST** – Sólidos Totais; **SS** – Sólidos em Suspensão; **SF** – Sólidos Fixos; **SV** – Sólidos Voláteis.

Tabela 10 – Resultados das análises químicas e bioquímicas das amostras de água residuária na fase final da lavagem dos frutos de café (*Coffea arabica* L.)

Função	pH	DQO	DBO	N _T	P _T	K _T	Na _T
		-----mg L ⁻¹ -----					
Água de abastecimento	6,1	18,68	0,00	-	0,88	9,7	4,20
Lavador + Desp/desm. 1	5,4	22.416,00	5.321,94	254,74	26,35	210,0	66,30
Lavador + Desp/desm. 2	5,4	18.066,36	5.821,17	163,53	18,82	148,0	46,40

Sendo: **Água de abastecimento** – amostra do reservatório de água (nº 19, Figura 4); **Lavador + Desp/desm. 1** – amostra da água proveniente da lavagem, descasque, despolpa e desmucilagem de 4.000 L de frutos, coletada no desarenador/sedimentador (nº 34, Figura 4). **Lavador + Desp/desm. 2** – amostra da água proveniente da lavagem, descasque, despolpa e desmucilagem de 6.000 L de frutos utilizando água recirculada, coletada no desarenador/sedimentador (nº 34, Figura 4). **pH** – Potencial Hidrogeniônico; **DQO** – Demanda Química de Oxigênio; **DBO** – demanda bioquímica de oxigênio; **N_T** – Nitrogênio Total; **P_T** – Fósforo Total; **K_T** – Potássio Total; **Na_T** – Sódio Total.

Na Tabela 10, o alto índice de DQO e DBO, indicou a presença de alto percentual de matéria orgânica devido à composição dos frutos do cafeeiro. A diminuição desta carga orgânica, conforme os resultados das Tabelas 7, 8, 9 e 10, foi indicativo da introdução de água “limpa”, proveniente do abastecimento (nº 19, Figura 4), porém com aumento da utilização do volume de água de lavagem. Foram geradas em torno de 20.000 L na primeira utilização e, 30.000 L na segunda, totalizando 50.000 L/dia, de água residuária altamente poluente, proveniente do processamento de frutos do cafeeiro.

Os elevados valores de DBO e DQO apresentados nas Tabelas 6, 8 e 10 indicaram que as águas residuárias possuem elevada carga orgânica e, se forem lançadas em corpos hídricos receptores sem tratamento prévio, poderão ocasionar sérios problemas ao ambiente. A elevada concentração de sólidos totais, dos quais a maior parte é composta por sólidos voláteis, pode ser removida por meio de tratamento biológico.

4.2 Armazenamento do café

No interior do armazém, considerando valores médios, a umidade relativa do ar ambiente variou entre 72,5 e 82,7 % e a temperatura entre 18,0 e 23,2 °C (Figura 6).

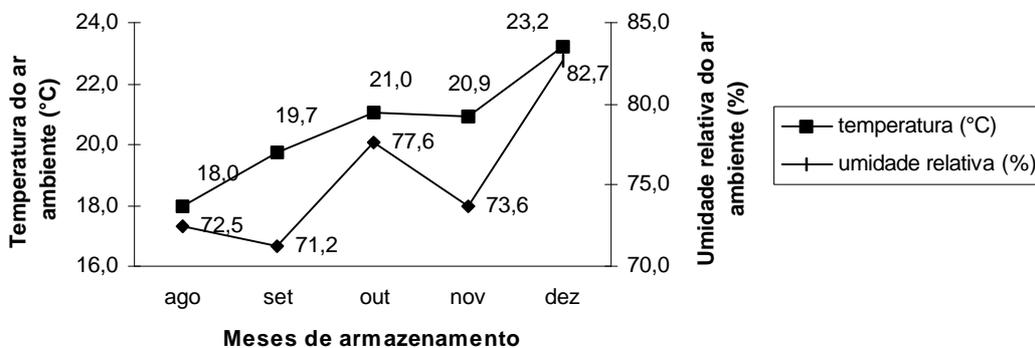


Figura 6 – Valores médios observados experimentalmente, no interior do armazém, no decorrer dos meses de agosto a dezembro de 2004.

O teor de água dos grãos, para os testes experimentais A1 a F1 (com cobertura plástica) variou entre 6,29 e 9,31 % b.u. (Figura 7), enquanto que para A2 a F2 (sem cobertura plástica) a variação foi entre 6,81 e 9,63 % b.u. (Figura 8).

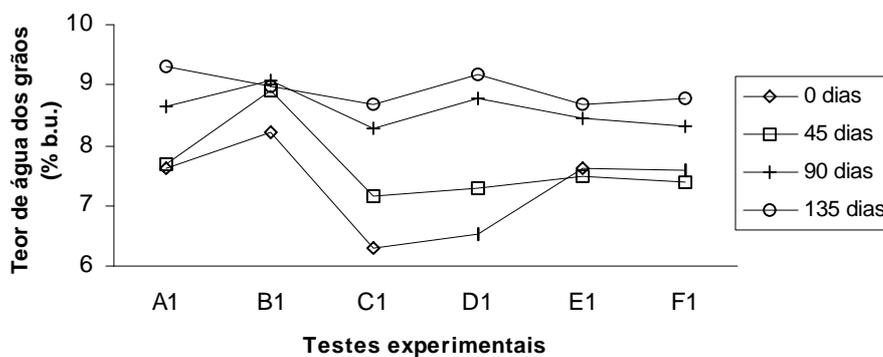


Figura 7 – Teor de água dos grãos (% b.u.) dos testes experimentais A1 a F1, no decorrer de 135 dias de armazenamento.

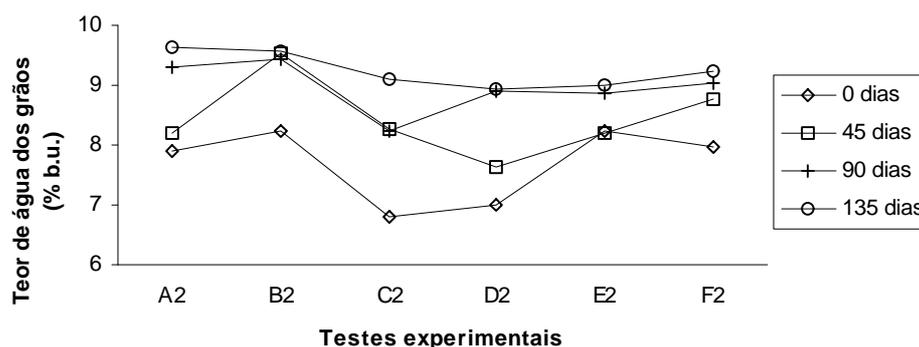


Figura 8 – Teor de água dos grãos (% b.u.) dos testes experimentais A2 a F2, no decorrer de 135 dias de armazenamento.

Observou-se em todos os tratamentos que os grãos foram armazenados com teor de água inferior àqueles indicados comercialmente (11 a 12 % b.u.).

Os resultados podem vir a contribuir para que ocorra infestação de fungos de armazenamento e ocratoxina A, pois segundo Silva et al. (2000a) e Scussel (2002), são hábeis em se desenvolver em condições de umidade relativa do ar entre 70 e 90 %. Já a produção de ocratoxina A pode ocorrer entre 12 e 37 °C (Sweeney e Dobson, 1998).

4.3 Equilíbrio higroscópico

A Tabela 11 contém os valores médios, mensais, de temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar ambiente, registrado em termohigrógrafo e os valores estimados de umidade de equilíbrio e umidade relativa de equilíbrio (%) utilizando a equação de Chung-Pfost et al. (1967).

Os teores de água (decimal b.s.) experimental e estimado estão contidos na Tabela 12, para os testes experimentais de A1 a F2 durante o período de armazenamento.

Na obtenção de respostas rápidas, o método indireto apresentou resultados distintos do método direto, evidenciando erro amostral ou o funcionamento inadequado do aparelho de medição indireta. A estimativa da umidade relativa de equilíbrio do ar intergranular, utilizando as constantes apresentadas por Silva et al. (2000a) apresentaram resultados mais próximos dos experimentais, em comparação com os coeficientes obtidos por Afonso Júnior (2001).

Tabela 11 – Valores médios, mensais, de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) ambiente, registrado em termohigrógrafo; valores estimados de umidade de equilíbrio, umidade relativa de equilíbrio (%) e teor de água dos grãos (decimal b.s.)

Período	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)		Teor de água dos grãos (decimal b.s.)*
		ambiente	equilíbrio	
08/04	18,0 ± 1,5	72,5 ± 3,7	22,15	0,0812
09/04	19,7 ± 2,2	71,2 ± 4,4	26,79	0,0875
10/04	21,0 ± 9,9	77,6 ± 6,7	32,91	0,0963
11/04	20,9 ± 2,5	73,6 ± 6,2	32,86	0,0962
12/04	23,2 ± 1,6	82,7 ± 5,5	36,30	0,1000

* valores médios, mensais, dos testes experimentais de A1 a F2.

Tabela 12 – Teores de água (decimal b.s.) experimental e estimado dos testes experimentais de A1 a F2 durante o período de armazenamento

Período	Teor de água (decimal b.s.) – Testes experimentais – Fase armazenagem												Estimativa b.s. (decimal)		
	Medição direta												Medição indireta	(1)	(2)
	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A2	B2	C2	D2	E2	F2			
08/04	0,0826	0,0896	0,0671	0,0699	0,0825	0,0820	0,0859	0,0898	0,0731	0,0753	0,0899	0,0866	0,1265±0,40	0,1704	0,4160
09/04	0,0834	0,0978	0,0771	0,0785	0,0808	0,0799	0,0894	0,1052	0,0903	0,0828	0,0892	0,0961	0,1301±0,59	0,1659	0,3852
10/04	0,0946	0,0997	0,0904	0,0961	0,0924	0,0906	0,1024	0,1052	0,0897	0,0978	0,0971	0,0993	0,1410±0,31	0,1818	0,4132
11/04	0,0946	0,0997	0,0904	0,0961	0,0924	0,0906	0,1024	0,1040	0,0897	0,0978	0,0971	0,0993	0,1410±0,31	0,1710	0,3866
12/04	0,1027	0,0985	0,0952	0,1010	0,0949	0,0961	0,1066	0,1057	0,1000	0,0982	0,0990	0,1019	0,1447±0,33	0,1874	0,4325

(1) estimativa do teor de água dos grãos, pela equação de Chung –Pfast, com coeficientes ajustados por Silva et al. (2000a);

(2) estimativa do teor de água dos grãos, pela equação de Chung –Pfast, com coeficientes ajustados por Afonso Junior (2001).

A estimativa destes resultados reside-se na possibilidade de avaliar a atividade de água dos grãos, considerando a possibilidade ou não do desenvolvimento de fungos. Observou-se que a umidade relativa do ar, estimada, variou entre 22,15 a 36,30 %. Esses valores não propiciam um ambiente favorável ao desenvolvimento de fungos.

Na Tabela 13 encontram-se os valores do teor de água dos grãos, para os testes experimentais A1 a F2, no qual foram utilizados os métodos direto e indireto para suas determinações.

Os valores de teor de água, observados experimentalmente, foram menores quando se utilizou o método direto comparando os resultados pelo método indireto de medição. Manteve-se o procedimento com o método indireto pela necessidade de se obter respostas rápidas durante a secagem.

Os resultados do teor de água obtida pelo método indireto, durante o monitoramento da secagem dos grãos, proporcionaram maior perda de peso, maior tempo e redução na capacidade de secagem.

Tabela 13 – Teor de água (% b.u.) obtidos através do método direto e indireto, dos grãos de café beneficiados, armazenados em pergaminho, em sacos de rafia, em armazém convencional

Testes	Dias de Armazenamento										
	0		45		90		135		Desvio Padrão		
	direto	indireto	direto	indireto	direto	indireto	direto	indireto	direto	indireto	
Experimentais											
A1	7,63	11,57	7,70	11,70	8,64	12,43	9,31	12,20	0,81	0,40	
A2	7,91	11,60	8,21	11,97	9,29	12,87	9,63	12,53	0,83	0,57	
B1	8,22	11,60	8,91	12,03	9,07	12,70	8,97	12,20	0,39	0,45	
B2	8,24	11,60	9,52	12,50	9,42	12,67	9,56	13,10	0,64	0,63	
C1	6,29	10,60	7,16	10,53	8,29	12,20	8,69	12,40	1,09	1,00	
C2	6,81	11,30	8,28	10,90	8,23	11,87	9,09	12,43	0,95	0,72	
D1	6,53	10,50	7,28	10,77	8,77	12,00	9,17	12,30	1,24	0,89	
D2	7,00	11,20	7,65	11,07	8,91	12,27	8,94	12,97	0,96	0,90	
E1	7,62	11,13	7,48	11,50	8,46	12,43	8,67	12,93	0,60	0,83	
E2	8,25	11,70	8,19	12,00	8,85	12,37	9,01	12,93	0,42	0,53	
F1	7,58	10,93	7,40	11,40	8,31	12,00	8,77	12,83	0,64	0,82	
F2	7,97	11,07	8,77	11,77	9,03	12,60	9,25	12,90	0,56	0,83	

Os valores referentes ao teor de água obtidos pelos métodos direto e indireto aumentaram, discretamente, durante as avaliações realizadas nos tempos 0, 45, 90 e 135 dias, indicando haver uma tendência natural em adsorver água.

O fenômeno de adsorção, durante a fase de armazenagem, foi decorrente do fato da pressão de vapor d'água do produto manter-se menor que a pressão de vapor d'água do ar no ambiente de armazenagem, considerando-se as condições experimentais.

Os grãos adsorveram entre 1,43 e 1,59 % água, naturalmente, pelo processo de adsorção, considerando as medições pelos métodos direto e indireto, respectivamente, quando armazenados sob condição de umidade relativa do ar entre 66,8 e 88,20 %, durante 135 dias, onde a temperatura média ambiente variou entre 18 e 23 °C. Explica-se que, em função do fenômeno de histerese, o teor final de água dos grãos não atingiu os valores de umidade de equilíbrio estimados, para as condições ambientes apresentadas.

4.4 Classificação

4.4.1 Quanto ao tipo

Foram utilizados grãos de café da categoria I, da espécie *Coffea arabica* L, da subcategoria chato por ser constituído de grãos com superfície dorsal convexa e ventral plana ou ligeiramente côncava, com ranhura central no sentido longitudinal.

As tabelas de 14 e 15 contêm os valores atribuídos ao peneiramento dos grãos no que se refere à sua forma, correspondente à dimensão dos crivos 13/64, 15/64, 16/64 e 17/64, fundo de peneira, catação, quebra, defeito (valor absoluto) e teor de água (% b.u.) para os testes experimentais de A1 a F2.

Observou-se que, no processo de separação, a peneira 17/64 foi superior em 70 %, pertencendo, portanto, à subcategoria chato graúdo para os testes experimentais de A1 a F2, segundo Brasil (2003) observando o máximo de quebra de 30 %.

A Tabela 16 contém a classificação do tipo de café beneficiado, para os testes experimentais de A1 a F2, considerando, principalmente o número de defeitos contidos nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Valores médios de amostras de café beneficiado, para identificação do tipo, para os testes experimentais A1, B1, C1, D1, E1 e F1, considerando o tamanho dos grãos e a dimensão dos crivos (Peneira 17/64 (P17 - %); Peneira 16/64 (P16 - %); Peneiras 13/64 e 15/64 (P13/15 - %), fundo de peneira (%), catação (%), quebra (%), defeito (valor absoluto) e teor de água (% b.u.) durante o armazenamento

	DIAS DE ARMAZENAMENTO																							
	0						45						90						135					
	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
P17	83	83	74	71	78	70	83	82	78	74	82	72	82	79	81	79	84	76	84	77	83	80	84	77
P16	5	6	7	8	6	8	7	6	8	8	7	9	6	6	6	7	5	9	6	7	6	7	5	7
P13/15	10	9	14	15	12	17	8	10	11	15	9	15	9	11	10	11	8	10	8	13	9	11	9	13
Fundo peneira	2	2	5	6	4	5	2	2	3	3	2	4	3	4	3	3	3	5	2	3	2	2	2	3
Catação	12	18	14	15	13	22	8	12	11	13	10	21	11	11	13	14	12	22	9	17	11	10	10	20
Quebra	14	20	19	21	17	27	10	14	14	16	12	25	14	15	16	17	15	27	11	20	13	12	12	23
Defeito	84	107	120	125	99	125	61	89	89	117	82	155	75	98	93	115	90	196	62	131	74	101	85	128
Teor de água	7,63	8,22	6,29	6,53	7,62	7,58	7,70	8,91	7,16	7,28	7,48	7,40	8,64	9,07	8,29	8,77	8,46	8,31	9,31	8,97	8,69	9,17	8,67	9,25

Tabela 15 – Valores médios de amostras de café beneficiado, para identificação do tipo, para os testes experimentais A2, B2, C2, D2, E2 e F2, considerando o tamanho dos grãos e a dimensão dos crivos (Peneira 17/64 (P17 - %); Peneira 16/64 (P16 - %); Peneiras 13/64 e 15/64 (P13/15 - %), fundo de peneira (%), catação (%), quebra (%), defeito (valor absoluto) e teor de água (% b.u.) durante o armazenamento

	DIAS DE ARMAZENAMENTO																							
	0						45						90						135					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
P17	84	81	75	73	84	71	80	79	79	76	82	73	82	82	81	79	82	77	85	79	80	81	84	77
P16	6	7	8	10	5	8	6	7	6	8	8	9	6	6	6	8	6	6	5	6	7	7	5	7
P13/15	9	10	14	14	9	16	10	11	12	12	8	15	10	9	11	10	9	13	8	12	10	10	9	13
Fundo peneira	1	2	3	3	2	5	4	3	3	4	2	3	2	3	2	3	3	4	2	3	3	2	2	3
Catação	11	17	14	18	15	25	12	17	10	15	8	20	12	18	9	14	13	17	12	16	11	13	13	20
Quebra	12	19	17	21	17	30	16	20	13	19	10	23	14	21	11	17	16	21	14	19	14	15	15	23
Defeito	81	92	103	135	99	178	102	108	96	117	86	153	88	115	87	111	108	158	71	118	74	94	87	128
Teor de água	7,91	8,24	6,81	7,00	8,25	7,97	8,21	9,52	8,28	7,65	8,19	8,77	9,29	9,42	8,23	8,91	8,85	9,03	9,63	9,56	9,09	8,94	9,01	9,25

Tabela 16 – Tipo de café beneficiado, de acordo com o percentual de defeitos, para os testes experimentais de A1 a F2, armazenados em pergaminho, durante 135 dias

Testes Experimentais	Dias de Armazenamento				Tipo final
	0	45	90	135	
A1	6	5-20	5-40	5-20	6
A2	5-45	6-10	6	5-35	6-10
B1	6-15	6	6-10	6-30	6-30
B2	6-05	6-15	6-20	6-20	6-20
C1	6-20	6	6-05	5-40	6-20
C2	6-10	6-05	6	5-40	6-10
D1	6-25	6-20	6-20	6-10	6-25
D2	6-35	6-20	6-15	6-05	6-35
E1	6-10	6	6-05	6	6-10
E2	6-10	6	6-15	6	6-15
F1	6-25	6-45	7-10	6-20	7-10
F2	7-05	6-45	6-45	6-30	7-05

Os grãos de café, dos testes experimentais de A1 a E2, por terem sido submetidos à seleção parcial, obtiveram variação entre os tipos 6 e 6-35, enquanto que para os testes F1 e F2 os valores foram 7-05 a 7-10. Em virtude desta oscilação, observou-se a existência de erro amostral no decorrer das avaliações.

Os cafés 6, 6-35, 7-05 e 7-10, nesta ordem, indicaram perda de qualidade comercial, segundo a observação do número de defeitos contidos na tabela de classificação prevista pela Instrução Normativa (Brasil, 2003).

4.4.2 Quanto à prova de xícara

A Tabela 17 contém os resultados referentes ao resumo da análise de variância das notas atribuídas na prova de xícara, em grãos beneficiados, em função de diferentes condições de secagem e diferentes condições de cobertura quando avaliados em 0, 45, 90 e 135 dias de armazenamento.

As fontes de variação secagem, cobertura plástica e tempo de armazenamento foram significativos ao nível de 1 e a 5 % de probabilidade, pelo teste F.

A análise de variância indicou não haver interação entre as variáveis secagem, cobertura plástica e tempo de armazenamento, ou seja, não houve efeito de um fator sobre outro. Optou-se em estudar o comportamento dos grãos, em relação à qualidade de bebida, por meio de equações de regressão ajustadas, em função do tempo de

armazenamento, mesmo não havendo interação significativa, conforme observado na Tabela 17.

As equações de regressão ajustadas (\hat{Y}), em função do tempo de armazenamento, estimaram a perda da qualidade em relação à bebida, quando observado em diferentes condições de secagem e cobertura (Tabela 18).

Tabela 17 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos através das notas atribuídas na prova de xícara, em função de diferentes condições de secagem e cobertura, avaliados em durante o armazenamento

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
Bloco	2	75,715
Secagem	5	76,990 **
Cobertura plástica	1	60,063 *
Secagem x Cobertura	5	12,013 ^{ns}
Erro (a)	22	12,806
Tempo de armazenamento	3	367,766 **
Secagem x Tempo	15	8,027 ^{ns}
Cobertura x Tempo	3	25,063 ^{ns}
Secagem x cobertura x tempo	15	12,346 ^{ns}
Erro (b)	72	13,836
CV (%) parcela		5,21
CV (%) subparcela		5,27

* Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F;

** Significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste F;

^{ns}. Não significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 18 – Equações de regressão ajustadas (\hat{Y}) para o cálculo da avaliação da qualidade de bebida do café, em função do tempo de armazenamento (T), para os respectivos testes experimentais (A1 a F2) e coeficiente de determinação (r^2)

Secagem	Cobertura	Equações ajustadas	r^2
A	1	$\hat{Y} = 80,33 - 0,066^{**}T$	0,60
A	2	$\hat{Y} = 78,33 - 0,074^{**}T$	0,83
B	1	$\hat{Y} = 80,60 - 0,075^{**}T$	0,89
B	2	$\hat{Y} = 75,91$ ^{ns}	
C	1	$\hat{Y} = 77,08$ ^{ns}	
C	2	$\hat{Y} = 75,75$ ^{ns}	
D	1	$\hat{Y} = 79,76 - 0,053^*T$	0,87
D	2	$\hat{Y} = 77,83 - 0,070^{**}T$	0,80
E	1	$\hat{Y} = 78,41$ ^{ns}	
E	2	$\hat{Y} = 81,46 - 0,067^{**}T$	0,87
F	1	$\hat{Y} = 75,83 - 0,051^*T$	0,83
F	2	$\hat{Y} = 76,23 - 0,054^*T$	0,88

* Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste “t”.

** Significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste “t”.

^{ns}. Não significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste “t”.

Os testes experimentais B2, C1, C2, E1, mantiveram os valores médios, atribuídos à bebida, no decorrer no armazenamento, indicando não haver efeito de uma variável sobre a outra. Portanto, independente do método de secagem e da condição de estar ou não coberto com lona plástica, o café não obteve alteração da qualidade, permanecendo na categoria apenas mole.

Os testes experimentais A1, A2, B1, D1, D2, E2, F1, F2, segundo as equações ajustadas, perderam pontos para cada dia de armazenamento em relação à nota inicial atribuída à bebida. O coeficiente de determinação variou entre 0,60 e 0,89, portanto, os dados estiveram ajustados entre 60 e 89 %, respectivamente, à equação.

4.5 Avaliação do café quanto à cor

O colorímetro forneceu valores positivos de **a** e **b**, para o cálculo de matiz e croma, porém, considerando a Figura 3 (McLellan et al., 1995; Little, 1975) e a classe do café despulpado e degomado como sendo verde azulado e verde cana, o quadrante adotado nesta condição de trabalho foi o III, com **a** e **b** negativos.

A Tabela 19 contém o resumo da análise de variância dos valores obtidos da leitura das coordenadas L*, matiz e croma, do sistema HUNTER de cor, para grãos beneficiados de café cereja, submetido a diferentes condições de secagem e armazenados durante 135 dias.

Tabela 19 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos da leitura das coordenadas L*, matiz e croma, do sistema HUNTER de cor, para grãos beneficiados de café cereja, submetido a diferentes condições de secagem e armazenados por 135 dias

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		L*	Matiz	croma
Bloco	2	0,381	68,698	1,097
Secagem	5	10,194 **	80,304 **	11,230 **
Cobertura plástica	1	25,418 **	8,028 ^{n.s}	2,351 **
Secagem x Cobertura	5	0,922	2,203 ^{n.s}	0,354 ^{ns}
Erro (a)	22	0,526	15,229 ^{n.s}	0,124
Tempo de armazenamento	3	63,302 **	2280,750 **	19,767 **
Secagem x Tempo	15	1,330 **	4,636 ^{n.s}	0,779 **
Cobertura x Tempo	3	5,742 **	4,887 ^{n.s}	1,175 **
Secagem x cobertura x tempo	15	0,626 ^{n.s}	3,653 ^{n.s}	0,276 ^{ns}
Erro (b)	72	0,413	25,260	0,232
CV (%) parcela		1,72	4,90	2,35
CV (%) subparcela		1,52	6,31	3,22

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{n.s.} Não significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Foi observada significância, a 1 % de probabilidade, pelo teste F, nos atributos L*, matiz e croma no que se refere à secagem, à cobertura plástica, e tempo de armazenamento. Com exceção do atributo matiz, L* e croma obtiveram resultados significativos, a 1 % de probabilidade, pelo teste F, nas interações quanto à secagem e tempo de armazenamento e, cobertura plástica e tempo de armazenamento. Portanto, houve efeito da variável secagem sobre o tempo de armazenamento e cobertura plástica sobre o tempo de armazenamento quando os grãos de café foram avaliados em relação a L* e croma.

As fontes de variação e as suas interações indicaram haver diferentes efeitos sobre a manutenção da cor dos grãos durante a armazenagem.

As equações de regressão ajustada, independente da interação secagem x cobertura x tempo de armazenamento, foram elaboradas a partir dos valores médios de L*, matiz e croma em função do tempo de armazenamento, para cada processo de secagem, cobertos ou não com lona plástica. Foram obtidos coeficientes de determinação (r^2) e coeficiente de correlação (r) (Tabela 20).

A tabela 20 contém os coeficientes **a** (estimativa de α) e **b** (estimativa de β) da equação de regressão ajustada $\hat{Y} = a + bT$, e coeficiente de determinação (r^2) para o cálculo estimado de L*, matiz e croma em função do tempo de armazenamento (T), para cada teste experimental.

Tabela 20 – Coeficientes da **a** e **b** da equação de regressão ajustada e coeficiente de determinação (r^2) para cálculo estimado de L*, matiz e croma em função do tempo de armazenamento, para os testes experimentais de A1 a F2

Testes Exp.	L*			Matiz			Croma		
	a	b	r^2	a	b	r^2	a	b	r^2
A1	40,67	0,0118**	0,43	82,17	-0,0788*	0,27	13,47	0,0061*	0,30
A2	40,68	0,0197**	0,44	82,15	-0,0737*	0,24	13,32	0,0104*	0,43
B1	40,50 ^{n.s.}	-	-	83,91	-0,0602*	0,35	14,50 ^{n.s.}	-	-
B2	39,56	0,0326**	0,49	83,74	-0,0669*	0,21	13,95	0,0152**	0,30
C1	41,98 ^{n.s.}	-	-	82,43	-0,0727*	0,25	14,60 ^{n.s.}	-	-
C2	42,38 ^{n.s.}	-	-	78,70 ^{n.s.}	-	-	14,58 ^{n.s.}	-	-
D1	42,35 ^{n.s.}	-	-	85,00	-0,0617*	0,21	15,20 ^{n.s.}	-	-
D2	41,84	0,0165**	0,36	81,59 ^{n.s.}	-	-	15,54 ^{n.s.}	-	-
E1	41,98 ^{n.s.}	-	-	86,62	-0,0773**	0,30	15,67 ^{n.s.}	-	-
E2	41,85	0,0155**	0,44	87,21	-0,0757*	0,31	15,67 ^{n.s.}	-	-
F1	41,65	0,0089*	0,16	84,81	-0,0699*	0,24	15,37 ^{n.s.}	-	-
F2	41,83	0,0261**	0,64	84,74	-0,0614*	0,25	15,26	0,0096**	0,54

* Significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste “t”.

** Significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste “t”.

^{n.s.} Não significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste “t”.

Observou-se que, segundo a equação ajustada para alguns testes experimentais, para cada dia de armazenamento, haverá aumento dos valores de L^* e croma, ou seja, ocorrerá alteração da cor, indicando haver tendência ao branqueamento em função do período de armazenamento. Quanto a matiz, ocorrerá o inverso, em que com o aumento do período de armazenagem, a posição angular tenderá a diminuir, modificando a cor dos grãos, comprovando o fenômeno de branqueamento.

Os testes experimentais C2 e D2 não foram significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste “t”, quanto à variável matiz. Portanto, o produto manter-se-á com a mesma posição angular por um período de 135 dias de armazenamento.

O coeficiente de determinação indicou o percentual de ajuste dos dados em relação à equação ajustada. A variação em L^* esteve entre 16 e 64 %; em matiz entre 21 e 35 %; em croma entre 30 e 54 %.

4.6 Avaliação do café quanto à incidência de microrganismos

A atividade de água dos grãos (a_w) variou entre 0,22 a 0,36; com umidade relativa de equilíbrio do ar intergranular e temperatura do ar ambiente variando entre 22,15 e 36,30 % e entre 15 e 25 °C, respectivamente. O teor de água dos grãos variou entre 7,00 a 9,31 % b.u.. A umidade relativa de equilíbrio do ar intergranular foi estimada por meio da equação de Chung-Pfost, utilizando as constantes obtidas por Silva et al. (2000a).

A temperatura atingiu valores que possibilitaram o desenvolvimento de fungos, pois, em condições ideais, são necessários de 25 a 30 °C. A baixa atividade de água e o baixo teor de água dos grãos durante o armazenamento contribuíram para minimizar seu desenvolvimento (Tabelas 11 e 13).

Foram identificados e quantificados os fungos *Aspergillus glaucus*, *A. flavus*, *A. candidus*, *A. ochraceus*, *A. niger*, *Cladosporium*, *Penicillium* e *Fusarium* nos testes experimentais de A1 a F2, conforme o conteúdo das Tabelas 21 a 24.

As Tabelas 21 e 23 contém o número de esporos de fungos na superfície dos grãos, em pergaminho, durante o armazenamento e as Tabela 22 e 24 os percentuais de grão e pergaminho (casca) colonizado por microrganismos durante a armazenagem.

Tabela 21 – Número de esporos de fungos na superfície dos grãos em pergaminho, considerando os testes experimentais A1 a F1, durante o armazenamento

Microrganismos	0						45						90						135					
	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	A1	B1	C1	D1	E1	F1
<i>A. glaucus</i> (10 ³)	110	70	20	5,3	2	0,56	3,3	-	-	3,3	-	3,3	-	-	-	-	-	-	140	140	-	-	-	-
<i>A. flavus</i> (10 ³)	-	3	0,5	0,3	1,75	0,13	3,3	3,3	10	16,6	-	16,6	6,6	6,6	10	6,6	6,6	16,6	-	-	-	-	-	-
<i>A. candidus</i> (10 ³)	3	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. ochraceus</i> (10 ³)	-	10	2,5	11	-	0,03	-	3,3	-	-	-	-	-	3,3	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
<i>Cladosporium</i> (10 ³)	110	3	13	1,25	0,3	0,23	47	-	26,6	3,3	3,3	10	50	-	3,3	-	3,3	6,6	20	-	-	1	-	-
<i>Penicillium</i> (10 ³)	-	-	-	-	-	-	77	20	93,3	60	150	200,3	36	43	6,6	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fusarium</i> (10 ³)	-	-	-	-	-	-	10	120	3,3	36,6	-	3	3	43	13,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 22 – Percentuais de grão (G) e pergaminho(casca) (C) colonizado por microrganismos em café, considerando dos testes experimentais A1 a F1 durante o armazenamento

Microrganismos	0														45														90														135													
	A1		B1		C1		D1		E1		F1		A1		B1		C1		D1		E1		F1		A1		B1		C1		D1		E1		F1		A1		B1		C1		D1		E1		F1									
	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G								
<i>A. ochraceus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-									
<i>A. restrictus</i>	4	4	-	-	-	2	4	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
<i>A. glaucus</i>	2	16	-	6	2	4	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	2	6	-	2	2	1	-	1	3	1	1									
<i>A. candidus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
<i>A. flavus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
<i>A. niger</i>	-	-	-	-	-	4	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
<i>Fusarium</i>	-	-	-	22	-	2	-	-	-	-	3	-	10	1	42	3	-	1	10	-	-	1	-	-	6	1	9	-	2	1	3	2	-	1	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-										
<i>Penicillium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	27	-	2	1	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-								

Tabela 23 – Número de esporos de fungos na superfície dos grãos em pergaminho, considerando os testes experimentais A2 a F2, durante o armazenamento

Microrganismos	0						45						90						135					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A2	B2	C2	D2	E2	F2
<i>A. glaucus</i> (10 ³)	560	66	250	33	22	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	40	20	40	-	-
<i>A. flavus</i> (10 ³)	130	13	16	1,6	0,6	0,6	6,6	3,3	10	26,6	3,3	6,6	3,3	23,3	10	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. candidus</i> (10 ³)	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. ochraceus</i> (10 ³)	100	20	3	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cladosporium</i> (10 ³)	300	2,3	3	0,6	0,6	0,3	10	10	-	-	6,6	-	36,6	-	6,6	-	6,6	-	220	-	-	-	-	-
<i>Penicillium</i> (10 ³)	-	-	-	-	-	-	200,3	46,6	96,6	13,3	150	290,2	43,3	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fusarium</i> (10 ³)	-	-	-	-	-	-	3,3	140,3	23,3	20	-	-	6,6	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 24 – Percentuais de grão (G) e pergaminho (casca) (C) colonizado por microrganismos em café, considerando dos testes experimentais A2 a F2 durante o armazenamento

Microrganismos	0						45						90						135																	
	A2		B2		C2		D2		E2		F2		A2		B2		C2		D2		E2		F2		A2		B2		C2		D2		E2		F2	
	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C	G		
<i>A. ochraceus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	5	3	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	4	4	1	-	-	-	-					
<i>A. restrictus</i>	4	25	-	-	9	6	-	1	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
<i>A. glaucus</i>	13	7	-	6	-	2	-	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	2	19	-	21	1	5	1	9			
<i>A. candidus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
<i>A. flavus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	3			
<i>A. niger</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	1	2			
<i>Fusarium</i>	3	7	-	15	2	2	-	-	-	4	5	-	-	8	36	1	7	-	12	-	-	-	-	2	2	1	19	4	3	-	2	3	3			
<i>Penicillium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

O surgimento de *A. glaucus*, no tempo zero, foi decorrente do alto percentual do teor de água dos grãos utilizado no início do processo de secagem, cujo tempo de permanência no terreiro permitiu a infecção deste microrganismo. Quanto ao *Cladosporium* e ao *Fusarium*, a infecção pode ter vindo do campo, proveniente da infestação ao fruto durante o amadurecimento do grão.

A não contaminação do *A. ochraceus* se deveu ao fato do seu desenvolvimento ocorrer com a_w entre 0,76 a 0,83, sendo superiores à condição em que o café foi armazenado. Quanto ao *Penicillium*, a contaminação pode ter vindo do campo ou do armazenamento, entretanto não persistiu devido ao fato de não ter tido condições apropriadas para o seu desenvolvimento, em função da baixa umidade dos grãos.

Os fungos *A. ochraceus*, *A. restrictus*, *A. glaucus*, *Fusarium* e *Penicillium* foram quantificados percentualmente, tanto na casca (pergaminho) quanto no grãos, entretanto, os níveis de contaminação não persistiram ao longo de 135 dias de armazenamento devido às condições estabelecidas no armazém.

Foi observado que no que se refere ao percentual de grão e casca colonizado por microrganismos, o café não foi infestado durante o período de avaliação, ou seja, os microrganismos estudados não persistiram na infestação durante o armazenamento. As condições de umidade relativa e temperatura do ar ambiente, além da atividade de água não permitiram a infecção destes microrganismos.

A maior ocorrência de *Penicillium*, ao 45 dias, em lotes cobertos e descobertos, pode ter sido em função da queda da temperatura do ar ambiente, propiciando seu desenvolvimento. Com a elevação da temperatura e umidade relativa do ar o *Penicillium* não encontrou condições para continuar a se desenvolver.

O lote coberto com lona plástica (1) foi o que apresentou menores índices de contaminação por microrganismos.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais pode-se concluir quanto:

a) Caracterização física, química e bioquímica da água de lavagem, despolpa e desmucilagem dos frutos do cafeeiro:

- a.1) em função da constituição química dos frutos do cafeeiro e das operações unitárias, a água gerada durante a lavagem, descascamento, despolpa e desmucilagem apresentou elevada carga orgânica e de componentes sólidos;
- a.2) a lavagem propiciou menor carga orgânica à água residuária quando comparada à despolpa e à desmucilagem;
- a.3) a adição de água limpa durante as operações unitárias de lavagem, descascamento, despolpa e desmucilagem, diluíram a carga orgânica, aumentando a demanda de água para as operações;
- a.4) observou-se elevados índices de nitrogênio e potássio na água residuária proveniente do pré-processamento e processamento dos frutos do cafeeiro;
- a.5) é indispensável a condição de tratamentos físicos e biológicos da água residuárias antes de disponibilizá-la para os corpos receptores;
- a.6) o conteúdo de potássio observado na água foi um indicativo da possibilidade da sua aplicação como ferti-irrigante.

b) Processo de secagem:

- b.1) a secagem sem exposição direta à radiação solar global, com meia-seca em terreiro e complementação em secador de leito fixo, em leiras, e a secagem completa em secador de leito fixo, em leiras, produziu cafés de melhor qualidade;

b.2) a secagem completa em terreiro, com exposição da radiação solar global, e armazenados sem cobertura, tenderam a propiciar um produto de pior qualidade, após o período de armazenagem considerado;

b.3) a secagem em secador de leito fixo, em leira, com a complementação em silo secador, armazenado sem cobertura, apresentou uma tendência de redução na qualidade dos grãos;

c) Classificação comercial:

c.1) a seleção manual dos grãos de café pretos, verdes e ardidos, durante a secagem em terreiro e durante beneficiamento, pode contribuir para a obtenção de um produto com menor número de defeitos;

c.2) a cobertura plástica, durante o período de armazenamento para os cafés, processados em secador de leito fixo, em leira, pode contribuir para a manutenção da sua qualidade, principalmente no que se refere à bebida e à cor.

d) Cor do café:

d.1) a não exposição do café à radiação solar global na pré-secagem e secagem complementar em secador de leito fixo, em leira, tende a reduzir o branqueamento dos grãos durante a armazenagem.

e) Microrganismos:

e.1). a cobertura plástica foi um fator inibidor de infestação por fungos durante a armazenagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahão, I.O, Miranda, L.R.F. de, Abrahão, J.T.M. **Aplicação da cristalização sensitiva na determinação da qualidade do café**. Piracicaba, Anais da ESALQ, 33: 567-575, 1976.
- Afonso Júnior, P.C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. Viçosa – MG: UFV, 2001. 384p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- Aguerre, R.J.; Suárez, C.; Viollaz P.E. Modeling temperature dependence of food sorption isotherms. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, London, 22(1): 1-5, 1989.
- Amaral, A.I.F. **Estudo das cores**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1973. 120p.
- Apha – American Public Health Association –. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington D.C.: 1998. 1000p.
- Amorim, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração de qualidade**. Piracicaba: ESALQ, 1978. 85p. (Dissertação de Livre Docência). AMORIM, H.V. Nutritional status of the coffee plant and beverage quality. **Indian Coffee**, Bangalore, 34(12): 331-335, 1970.
- Amorim, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração de qualidade**. Piracicaba: ESALQ, 1978. 85p. (Dissertação de Livre Docência).
- Amorim, H.V.; Cruz, A.R.; Dias, R.M.; Gutierrez, L.E.; Teixeira, A.A.; Melo, M.; Oliveira, G.D. Transformações físicas, químicas e biológicas do grão do café e sua qualidade. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5, 1977, Guarapari. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1977. p.45-48.

- Bacchi, O. O branqueamento dos grãos de café. **Bragantia**, Campinas, 21(28): 467-468, 1962;
- Bártholo, G.F.; Guimarães, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 18(187): 33-42, 1997.
- Barros, W.J.; Fabri, M.A.; Vicente, J. C. **Estudo de otimização energética em operações pós-colheita de café**. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 20, Guarapari. 39-41, 1994.
- Betina, V. Ochratoxins and related dihydroisocoumarins. In: Betina, V. (Ed.) **Mycotoxins – production, isolation, separation and purification**. New York: Elsevier, 1984. 183–210.
- Braga, J.M.; Defelipo, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, 21: 73-85, 1974.
- Braile, P.M.; Cavalcanti, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.
- Brasil 2003. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003**. 2003. 11 p.
- Brooker, D.B.; Bakker-Arkema, F.W.; Hall, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.
- Bucheli, P.; Kanchanomai, C.; Meyer, I.; Pittet, A. Development of ochratoxin A during robusta (*Coffea canephora*) coffee cherry drying. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. 48(4):1358-1362, 2000.
- Bueno, C.F.H. Instalações para o beneficiamento do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17, Poços de Caldas, 1998. **Anais...Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998**.
- Cabanellas, C.F.G. **Tratamento da água sob recirculação em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 103p. (Tese de Mestrado).
- Cal-Vidal, J. Potencial higroscópico como índice de estabilidade de grãos e cereais desidratados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 17(1): 61-76, 1982.

- 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.
- Campos, L.P.R.; Lopes, A.L.B.; Horta, A.H.L.; Carneiro, R. **Licenciamento ambiental: coletânea de legislação.** Belo Horizonte: FEAM; Projeto Minas Ambiente, 1998. 382 p. (Manual de Saneamento e Proteção ambiental para os Municípios, v.5).
- Carvalho, V.D.; Chagas, S.J.R.; Souza, S.M.C. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 18(187): 5-20, 1997.
- Chassevent, F. Coloque Scientific International sur le café, rapport de aynthèse agronomic, 13. **Café Cacao Thé**, Paris, 31(3): 219-221, 1987.
- Chen, C.; Jayas, D.S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, 41(6): 1755-1760, 1998.
- Christensen, C.M.; Kaufmann, H.H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grain and their products.** St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 158-192, 1974
- Chung, D.S.; Pfof, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 10(4): 149-157, 1967.
- Conab, 2005. Companhia Nacional de Abastecimento/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Safra 2005/2006 – Terceiro Levantamento – Agosto 2005. Disponível em <http://www.conab.gov.br/download/nupin/SAFRAS/3%20levantamento%20café.pdf>, acessado em 01 de agosto de 2005.
- Corrêa, P.C.; Martins, J.H.; Christ, D.; Mantovani, B.H.M. Curvas de dessecção e calor latente de vaporização para as sementes de milho de pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2(1): 75-79, 1998.
- Delgado, E. A.; Barois, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3. **Anais...** Londrina – PR, 1999, 513 p. 335-343.
- Dhingra, O.; Sinclair, J.B. **Basic Plant Pathology Methods** – Second edition, 434 p., CRC Press, 1996.

- Di Bernardo, L. **Tecnologias de tratamento de água com filtração rápida**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE SELEÇÃO DE TECNOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDADE DEL AGUA, 2000. Santiago de Cali, Peru.
- Donzeles, S.M.L. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema híbrido, solar e biomassa, para secagem de café (*Coffea arabica* L.)**. Viçosa-MG: UFV, 2002. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- Dorfman, E. **Pré-secagem de café em barçaça com utilização de energia solar**. Campinas – SP: UNICAMP, 1980. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 1980.
- Fao 2003. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Summary of Food and Agricultural Statistics**. Roma, 2003. Disponível em <http://www.fao.org>, acessado em 10 de agosto de 2005.
- Francis, F.J. Color quality evaluation of horticultural crops. **HortScience**, 15: 58-59, 1980
- Francis, F.J.; Clydesdale, F.M. **Food colorimetry: Theory and Applications**. Westport, Connecticut: The AVI Publishing Company, INC., 1975. 477p.
- Frank, J.M. Modelling and HACCP tools for coffee quality improvement. In: Workshop: Micotoxinas em Café, 1999, **Anais...** Belo Horizonte, MG, 7p.
- Freire, A.T. **Projeto e avaliação de um sistema de secagem combinada de café (*Coffea arabica* L.) despoldado**. Viçosa - MG: UFV, 1998. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- Gitimu, C.W. Better coffee farming: coffee processing. **Kenya Coffee**, 60(703): 1997-1998, 1995.
- Godinho, R.P.; Vilela, E.R.; Oliveira, G.A.; Chagas, S.J.R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, especial(1): 38-43, 2000.
- Graner, E.A., Godoy, J.C. **Manual do cafeicultor**. São Paulo: Melhoramentos, 1967. 320p.
- Hall, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: The AVI Publishing Company, 1980. 382 p.

- Hara, T. **Storage factors affecting coffee quality**. Purdue: Purdue University, 1972. 42p. (Tese de Mestrado).
- Hunterlab. The Color Management Company – Insight on Color. Hunter L, a, b Versus CIE 1976 L*a*b*. **Applications Note**. 13(2), 2001, 4p. Disponível em http://www.hunterlab.com/appnotes/an02_01.pdf, acessado em 01 de agosto de 2004.
- Illy, A.; Viani, R. **Express coffee: the chemistry of quality**. London: Academic Press, 1995. 253 p.
- Jay, J.M. **Microbiologia moderna de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1994. 423-430.
- Jayas, D.S.; Mazza, G. Equilibrium moisture characteristics of safflower seeds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 34(5): 2099-2103, 1991.
- Joosten, H. M. L. J., Goetz, J., Pittet, A., Schellenberg, M., Bucheli, p. Production of ochratoxin A by *Aspergillus carbonarius* on coffee cherries. **International Journal of Food Microbiology**, 65: 39-44, 2001.
- Kramer, A. Use of color measurement in quality control of foods. **Food Technology**, Chicago, 30(1): 62-71, 1976.
- Lacerda Filho, A.F. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café** (*Coffea arabica* L.). Viçosa - MG: UFV, 1986. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- Leite, R.A.; Correa, P.C.; Oliveira, M.G.A.; Reis, F.P.; Oliveira, T.T. Qualidade tecnológica do café (*Coffea arabica* L.) pré-processado por "via seca" e "via úmida" avaliada por método químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2(3): 308-311, 1998.
- Little, A.C. Off on a tangent. **Journal of Food Science**, 40: 410-411, 1975.
- Lopes, R.P. Efeito da luz na qualidade (cor e bebida) de grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante a armazenagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, especial(1): 09-17, 2000.
- Lopes, R.P.; Hara, T.; Silva, J.S. Avaliação da qualidade de grãos de café pela colorimetria. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, 6(3): 160-169, 1998.
- Lozano, R.D. **El color y su medición**. Buenos Aires: Editorial Américalee, 1978. 640 p.

- Matiello, J.B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Editora Globo S.A., 1991. 320p.
- Matos, A.T. Práticas de Manejo e Tratamento de resíduos agroindustriais. UFV: EAGRI/DEA. Série **Caderno Didático**, 32, 2004.
- Matos, A.T.; Lo Mônaco, P.A.; Garcia, G.O. **Caracterização dos resíduos sólidos e líquidos no processamento dos frutos do cafeeiro**. Disponível em <http://www.ufv.br/poscolheita/aguas/caracterizacao.htm>, acessado em 16 de julho de 2005.
- Matos, A.T.; Lo Mônaco, P.A. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro. **Engenharia na Agricultura**, Boletim Técnico; 7. Viçosa: UFV, 2003. 68 p.
- Mazzafera, P.; Guerreiro, F.O.; Carvalho, A. Estudo de coloração verde do grão de café: determinação de flavonóides e clorofilas. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 11, 1984, Londrina. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1984. 178-181.
- McLellan, M.R.; Lind, L.R.; Kime, R.W. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L, a, b data. **Journal of Food Quality**, 18: 235-240, 1995.
- McLoy, J.F. Mechanical drying of arabica coffee. **Kenya Coffee**, Nairobi, 44(516): 13-26, 1979.
- Melo, M.; Fazuoli, L.C.; Teixeira, A.A.; Amorim, H.V. Alterações físicas, químicas e organolépticas em grãos de café armazenados. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 32(4): 468-471, 1980.
- Menchú, E.F. La determinación de la calidade del café: características, color y aspecto. **Agricultura de las Americas**, Kansas City, 16(5): 18-21, 1967.
- Monteiro, M.A.M. **Caracterização sensorial da bebida de café (*Coffea arabica* L.): análise descritiva quantitativa, análise tempo-intensidade e testes afetivos**. Viçosa: UFV, 2002, 181p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- Morey, R.V.; Keener, H.M.; Thompson, T.L.; White, G.M.; Bakker-Arkema, F.W. **The presents status of grains dryings simulation**. St. Joseph: ASAE, 1978. 24p. (Paper 78-3009).
- Müeller, C.G.; Rudolf, M. **Luz e visão**. Rio de Janeiro: Editora José Olympio, 1966. 30p.

- Multon, J.L.; Poisson, J.; Cahagnier, B.; Hahn, D.; Barel, M.; Santos, A.C. Evolution de plusieurs caractéristiques d'un café arabica au cours d'un stockage expérimental effectué à cinq humidités relatives et quatre températures différentes. **Café Cacao Thé**, Paris, 18(2): 121-132, 1974.
- Northmore, J.M. Raw bean colors and the quality of Kenya arabica coffee. **Turrialba**, San José, 18(1): 14-20, 1968.
- Oliveira, M.V. **Efeito do armazenamento no branqueamento de grãos de café beneficiado: modelagem matemática do processo**. Lavras: ESAL, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos).
- Pereira, R.G.F.A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café "estritamente mole"**. Lavras: UFLA, 1997. 94p. (Tese de Doutorado).
- Pfost, H.B.; Maurer, S.G.; Chung, D.S.; Milliken, G.A. **Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains**. St. Joseph: 1976. 25p. (ASAE Paper 76-3520).
- Pixton, S.W.; Howe, R.W. The suitability of various linear transformations to represent the sigmoid relationship of humidity and moisture content. **Journal of Stored Products Research**, London, 19(1): 1-18, 1983.
- Prete, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudado de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 125p. (Tese de Doutorado).
- Roa, G.; Rossi, S.J. Determinação experimental de curvas de teor de umidade de equilíbrio mediante a medição da umidade relativa de equilíbrio. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, 2(2): 17-22, 1977.
- Robinson, J.B.D. Amber beans. **Kenya Coffee**, Nairobi, 25(1): 91-93, 1960.
- Rochac, A. **Diccionario del café**. New York: Oficina Panamericana del Café, 1964. 490p.
- Sampaio, A.L.P. **Classificação comercial do café**. São Paulo: IBC, 1967. 198 p.
- Scussel, V.M. Fungos e micotoxinas associados a grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, H.L.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. 673-738p.

- Setser, C.S. Color: reflections and transmissions. **Journal of Food Quality**, Westport, 6(1): 183-197, 1983.
- Silva, C.G.; Correa, P.C.; Martins, J.H. Qualidade da bebida do café (*Coffea arabica* L.) em função da proporção de frutos verdes e da temperatura do ar de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, 23(1): 45-48, 1998.
- Silva, J.S. Colheita, Secagem e Armazenagem do Café. In: **1 Encontro sobre produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV. Departamento de Fitopatologia. 39-80, 1999.
- Silva, J.S.; Afonso, A.D.L.; Lacerda Filho, A.F. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SILVA, J.S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509p.
- Silva, J.S.; Berbert, P.A.; Afonso, A.D.L.; Rufato, S. Qualidade dos grãos. In: SILVA, J.S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda fácil, 63-105, 2000a.
- Silva, J.S.; Nogueira, R.M; Roberto, C.D. **Tecnologias de secagem e armazenagem para a agricultura familiar**. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2005. 138p.
- Silva, J.S., Ruffato, S., Precci, R.L. Gerenciamento da secagem de café em sistemas combinados. In: ZAMBOLIM, L.(ed.) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2000b. 396p.
- Silva, L.C. **Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arabica* L.) intermitente de fluxos contracorrentes**. Viçosa: UFV, 1991. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- Silva, O.M.; Leite, C.A.M. , Competitividade e custos do café no Brasil. In: **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2000. 27-50.
- Sokhansanj, S.; Yang, W. Revision of the ASAE standard D245.4: moisture relationships of grains. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 39(2): 639-642, 1996.
- Soysal, Y.; Öztekin, S. Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. **Journal Agricultural Engineering Research**, London, 74(3): 317-324, 1999.
- Stirling, H.G. Further experiments on factors affecting quality loss in stored arabica coffee. **Kenya Coffee**, Nairobi, 40(466): 28-35, 1975.

- Suaréz-Quiroz, M.; González-Rios, O.; Barel, M.; Guyot, B.; Schorr-galindo, S.; Guiraud, J.P. Study of ochratoxin A – producing strains in coffee processing. **International Journal of Food Science and Technology**. 39: 501-507, 2004.
- Subrahmanyam, V.; Bhatia, D.S.; Natarajan, C.P.; Majunder, S.K. Storage of coffee beans. **Indian Coffee**, Bangalore, 25(1): 26-36, 1961.
- Sun, D.W.; Woods J.L. The selection of sorption isotherm equations for wheat based on the fitting of available data. **Journal of Stored Products Research**, London, 30(1): 27-43, 1994.
- Sweeney, M. J., Dobson, A. D. W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. **International Journal of Food Microbiology**, 43: 141-158, 1998.
- Talib, M.Z.M.; Daud, W.R.W.; Ibrahim, M.H. Moisture desorption isotherms of cocoa beans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 38(4): 1153-1155, 1995.
- Tedesco, J. M.; Volkweiss, S. J.; Bohnen, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFGS, 1985. 186 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- Teixeira, A. A. Classificação do café. In: **Encontro sobre produção de café com qualidade, 1**. Viçosa, MG: UFV, Departamento de Fitopatologia, 1999. 259p.
- Thomaziello, R.A., Oliveira, E.G. de, Francisco Toledo, J.A. de, **Cultura do café**, Campinas, Fundação Cargill, 1996. 69p.
- Urbano, G.R.; Taniwaki, M.H.; Leitano, M.F. de F.; Vicentini, M.C. Occurrence of ochratoxin A – Producing fungi in raw Brazilian coffee. **Journal of Food Protection**. 64(8): 1226-1230, 2001.
- Vasco, J.Z. Procesamiento de frutos de café por vía húmeda y generación de subproductos. In: INTERNACIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.345-355
- Viana, J.J.S. Aplicação de um modelo mundial para cafés diferenciados por origem. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 142p. (Tese de Doutorado).
- Vilela, E.R.; Chandra, P.K.; Oliveira, G.A. Efeito da temperatura e umidade relativa no branqueamento de grãos de café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, especial(1): 31-37, 2000.

Von Sperling, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte:
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de
Minas Gerais, 2, 1996, 211p.