

REGINALDO RODRIGUES DOS SANTOS

MODIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SECADOR ROTATIVO HORIZONTAL,
COM DISTRIBUIÇÃO RADIAL DO FLUXO DE AR, PARA SECAGEM DE CAFÉ

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

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2002

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

T

S237m
2002

Santos, Reginaldo Rodrigues dos, 1973-

Modificação e avaliação de um secador rotativo horizontal, com distribuição radial do fluxo de ar, para secagem de café / Reginaldo Rodrigues dos Santos . – Viçosa : UFV, 2002.

62p. : il.

Orientador: Adílio Flauzino de Lacerda Filho
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Secadores rotativos - Desempenho. 2. Secadores rotativos - Consumo de energia. 3. Fornoas - Desempenho. 4. Fornoas - Consumo de energia. 5. Combustíveis - Consumo. 6. Combustíveis - Eficiência energética. 7. Café - Secagem. 8. Café - Qualidade. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.3

CDD 20.ed. 631.3

REGINALDO RODRIGUES DOS SANTOS

MODIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SECADOR ROTATIVO HORIZONTAL,
COM DISTRIBUIÇÃO RADIAL DO FLUXO DE AR, PARA SECAGEM DE CAFÉ

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

Aprovada em 22 de julho de 2002.

Prof. Jadir Nogueira da Silva

Dr. Sérgio Maurício Lopes Donzeles

Prof. Juarez de Sousa e Silva
(Conselheiro)

Prof. Evandro de Castro Melo
(Conselheiro)

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Orientador)

A quem acredita na força de vontade e no trabalho para vencer na vida,

dedico

AGRADECIMENTO

A DEUS, por tudo.

Ao professor Adílio Flauzino de Lacerda Filho, pela orientação, pela amizade, pelo estímulo e pela dedicação durante o Programa.

Aos professores Juarez de Sousa e Silva e Evandro de Castro Melo, pelo apoio, pela amizade e pelas sugestões.

Aos professores do DEA, que contribuíram diretamente pelo sucesso deste trabalho.

Aos meus amigos, verdadeiros, pelo convívio e pela amizade durante o Programa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do DEA, pela amizade e pelo apoio.

Aos funcionários do DEF, pelo apoio.

Aos meus colegas e amigos da Pós Graduação, pela ajuda, pelo apoio e pela amizade.

Aos meus amigos da Bahia, por tudo.

Aos moradores dos alojamentos PÓS 1921 e 1922.

Aos meus pais e irmãos, por existirem.

À minha esposa Janaína de Paula Santos, pelo amor, pela amizade e pela compreensão.

Aos meus filhos, Vinnícius Gabriel e Náthaly Gabrielle, por me ensinar o que é o amor.

BIOGRAFIA

REGINALDO RODRIGUES DOS SANTOS, filho de Raimundo Bispo dos Santos e Juranir Rodrigues da Silva, nasceu em Aurelino Leal, Bahia, em 19 de agosto de 1973.

Em março de 1995, ingressou no curso de Física transferindo-se no segundo semestre de 1997 para o curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em outubro de 2000.

Em outubro de 2000, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, defendendo tese em 22 de julho de 2002.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Secagem do café.....	3
2.2. Secador rotativo.....	5
2.3. Fornalhas.....	6
2.4. Combustíveis usados na secagem de café.....	8
2.5. Avaliação energética dos sistemas de secagem.....	8
2.6. Qualidade do café	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Procedimentos experimentais.....	12
3.2. Sistemas de secagem.....	13
3.2.1. Secador rotativo comercial.....	14
3.2.2. Secador rotativo modificado.....	15
3.2.3. Secagem em terreiro	16
3.3. Execução experimental	17
3.3.1. Teor de água do produto e massa específica	17
3.3.2. Tempo.....	17
3.3.3. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente.....	17
3.3.4. Temperatura do ar intergranular, de secagem e de exaustão.....	18
3.3.5. Vazão específica do ar e pressão estática.....	19

3.3.6. Aquecimento do ar de secagem.....	19
3.3.6.1. Secador comercial.....	19
3.3.6.1. Secador modificado.....	19
3.3.7. Teor de água e poder calorífico do combustível.....	20
3.3.8. Consumo específico de energia no secador.....	20
3.3.9. Área de secagem.....	20
3.3.10. Qualidade do produto.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Temperatura de secagem e ambiente e umidade relativa do ar ambiente..	25
4.2. Temperaturas na massa de grãos e do ar de exaustão.....	28
4.3. Teor de água e massa específica aparente.....	35
4.4. Consumo de energia.....	41
4.4.1. Consumo de energia elétrica.....	43
4.5. Análise da qualidade do produto após a secagem.....	44
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
7. APÊNDICE.....	51

RESUMO

SANTOS, Reginaldo Rodrigues dos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2002.
Modificação e avaliação de um secador rotativo horizontal, com distribuição radial do fluxo de ar, para secagem de café. Orientador: Adílio Flauzino de Lacerda Filho.
Conselheiros: Juarez de Sousa e Silva e Evandro de Castro Melo.

Com o objetivo de avaliar as modificações técnicas e operacionais em um secador rotativo horizontal foram conduzidos seis testes de secagem divididos em dois tratamentos, com três testes cada. A temperatura do ar de secagem foi controlada em 60 °C. Os teores de água iniciais do produto foram diferentes em cada teste realizado. Foram utilizados dois secadores rotativos, sendo um comercial e o outro modificado. Utilizou-se como produto o café (*Coffea arabica* L.) cereja lavado (tratamento 1) e cereja lavado com meia seca (tratamento 2). Como testemunha fez-se, no terreiro, ao sol, uma secagem para cada ensaio até que o café atingisse o teor de água final igual a 11 – 12 % b.u., visando a comparação de qualidade do produto. Para a avaliação da eficiência energética de secagem dos sistemas, determinaram-se o consumo de combustível e o consumo de energia elétrica. Com base nos resultados obtidos, foi possível observar menor consumo específico de energia no secador rotativo com as modificações propostas, em todos os testes. Um menor consumo de energia elétrica também foi observado no secador rotativo modificado. A qualidade do produto final foi a mesma nos dois secadores. Não houve diferença entre os tempos de secagem nos dois secadores testados.

ABSTRACT

SANTOS, Reginaldo Rodrigues dos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July of 2002.
Modification and evaluation of a horizontal rotative dryer, with radial distribution of the flow of air, for drying of coffee. Adviser: Adílio Flauzino de Lacerda Filho.
Committee members: Juarez de Sousa e Silva and Evandro de Castro Melo.

With the objective of evaluating the technical and operational modifications in a horizontal rotative dryer six drying tests were led divided in two treatments, with three tests each. The temperature of the drying air was controlled in 60 °C. The tenors of water initial of the product were different in each accomplished test. Two rotative dryers were used, being a commercial and the another modified. It was used as product the coffee (*Coffea arabica* L.) cherry washed (treatment 1) and cherry washed with stocking it evaporates (treatment 2). As witness was made, in the yard, in the sun, a drying for each rehearsal until that the coffee reached the tenor of final water same to 11 - 12% b.u., seeking the comparison of quality of the product. For the evaluation of the energy efficiency of drying of the systems, they were determined the consumption of fuel and the electric power consumption. With base in the obtained results, it was possible to observe smaller consumption specify of energy in the rotative dryer with the proposed modifications, in all the tests. A smaller electric power consumption was also observed in the modified rotative dryer. The quality of the final product was the same in the two dryers. There was not difference among the times of drying in the two tested dryers.

1 – INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, no entanto vem perdendo espaço no mercado externo. A sua participação média nos últimos cinco anos foi de 25,8 % na produção e 22,2 % nas exportações mundiais. Mesmo assim, o café ocupa a segunda posição na pauta das exportações agrícolas brasileiras, gerando, em média, US\$ 2,7 bilhões por ano, sendo também uma excelente fonte de receita tributária para cerca de 1700 municípios produtores. No ano de 2001 o Brasil bateu o recorde histórico das exportações de café recuperando seu espaço, no mercado internacional, como maior vendedor do produto. Os embarques totais de 23,46 milhões de sacas de 60 kg foram 30 % superiores ao volume registrado em 2000. Com o resultado de 2001, o país conseguiu elevar a sua participação no mercado global para 27 %, ante os 22 % atingidos em 2000 (ABIC, 2002).

Na safra 2002/2003 o Brasil deverá colher entre 37,6 e 39,6 milhões de sacas. Estima-se para o Estado de Minas Gerais, aproximadamente, 50,5 % desta produção, colhendo entre 19 e 20,2 milhões de sacas. Estas são as primeiras conclusões da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2002), responsável pelo levantamento da safra brasileira de café.

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta com o incremento da produção devido aos seguintes fatores: permite antecipar a colheita e armazenamento dos produtos, durante períodos mais longos, sem o risco de deterioração; mantém o poder germinativo das sementes durante longo período; impede o desenvolvimento de microrganismos e insetos; e minimiza a perda do produto no campo (SILVA et al., 1995).

A secagem é o processo mais econômico para manutenção da qualidade de grãos agrícolas, quando armazenados em ambiente natural. Este processo consiste na remoção de

parte da água que os grãos apresentam depois do amadurecimento fisiológico. O teor de água final desejado é aquele correspondente ao valor máximo com o qual o produto pode ser armazenado durante períodos pré-determinados, à temperatura ambiente, sem que ocorram deteriorações e, ou redução de qualidade.

O uso racional da energia na secagem de café e de outros produtos agrícolas contribui, substancialmente, para a economia de combustível e, conseqüentemente, para a redução do custo de secagem. A análise do consumo específico de energia durante este processo é importante para a escolha de um sistema de secagem.

Quando se analisam sistemas de secagem, os consumos de combustível e de energia elétrica devem ser avaliados, de modo a obter um custo mínimo por unidade de massa de produto.

O secador rotativo horizontal é, atualmente, o mais vendido no Brasil, para secagem de café. Apresenta alto custo inicial de investimento, alta incidência de danos mecânicos aos grãos e, principalmente, baixa eficiência energética. Considerando-se o exposto, os objetivos do presente trabalho foram:

- comparar o consumo de energia observado em um secador rotativo comercial, acoplado a uma fornalha a fogo indireto, à lenha, com um secador rotativo modificado, acoplado a uma fornalha a fogo direto a carvão vegetal; e
- comparar a qualidade final do produto seco nos dois sistemas de secagem.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Secagem do café

Devido ao alto teor de água no momento da colheita (60 a 70 % b.u.) os frutos do café apresentam condições favoráveis a alterações características em decorrência da respiração, de oxidações, de fermentações intracelulares e de desenvolvimento de fungos e bactérias. Assim, para se obter um café de boa qualidade, minimizando os riscos de ocorrência de alterações indesejadas, faz-se uso da secagem artificial (SILVA et al., 1990). A secagem, natural ou artificial, é uma das operações mais importantes no preparo do café, necessitando atenção especial, uma vez que pode afetar a qualidade do café.

Na secagem de café é comum o uso de fornalhas a fogo direto ou indireto. Observa-se que a maioria das fornalhas utilizadas, para este fim, apresenta baixa eficiência, grande perda de energia e elevado consumo de combustível. A disponibilidade de energia para a secagem constitui, hoje, uma preocupação a mais para o cafeicultor, devido à escassez dos recursos naturais e, conseqüentemente, seu alto preço. Segundo RIGUETTI e QUEIROZ (1991), na secagem artificial, em temperatura elevada, o consumo de energia pode ser superior a 60 % do total gasto com a produção e processamento do produto agrícola. OSÓRIO et al. (1983) afirmaram que, de acordo com os aspectos tecnológicos envolvidos, são utilizados no Brasil basicamente dois métodos para secagem de café:

a - secagem em terreiros: neste sistema, o produto é espalhado sobre pisos que podem ser de cimento, de tijolo, de chão batido ou de asfalto. Este método é o mais utilizado, principalmente, pelos pequenos e médios produtores.

b - secagem em secadores mecânicos: neste sistema, o ar aquecido é forçado através da massa de grãos. Devido ao elevado custo, é mais acessível aos grandes cafeicultores.

A secagem em terreiro é um método bastante tradicional, utilizado desde o início da cafeicultura. Apresenta problemas específicos, como a dependência dos fatores climáticos, a necessidade de mão-de-obra e de grandes áreas planas. Já a secagem em secadores mecânicos apresenta problemas, como o fato da maioria dos secadores utilizados serem adaptações de modelos projetados para outros grãos, resultando em baixa eficiência quando utilizados para secagem de café.

Na secagem em secador mecânico, deve-se estar atento à temperatura e ao tempo de secagem. As temperaturas mais elevadas tornam a operação mais rápida e, portanto, mais econômica (GIRANDA, 1998). Porém, apesar de os prejuízos decorrentes desta prática não serem totalmente conhecidos, diversos autores recomendam valores máximos de 60 °C para a temperatura do ar de secagem com riscos de redução na qualidade, caso esses valores sejam ultrapassados.

Alguns modelos de secadores utilizados no Brasil para a secagem de café são provenientes de modificações do secador contínuo de fluxo cruzado utilizado para cereais, os quais são construídos com câmaras de descanso para homogeneização da umidade e recirculação do café, tornando o processo intermitente. O custo operacional é elevado por necessitar de energia para movimentar o café, aquecer e movimentar o ar (VILELA, 1977)

Na maioria dos casos, nos secadores de leito fixo o ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa de grãos. A troca de umidade entre o ar e o grão ocorre numa região denominada zona de secagem. Durante a secagem desenvolvem-se dois gradientes, um de umidade e outro de temperatura, estabelecidos entre as camadas inferior e superior da massa de grãos (BROOKER et al., 1974).

SILVA e LACERDA FILHO (1984), recomendam o revolvimento periódico da massa de grãos. Indicam, para o café, intervalos de tempo regulares de revolvimento iguais a 180 minutos. Tal procedimento reduz, em níveis aceitáveis, os gradientes de umidade e temperatura existentes.

OSÓRIO et al. (1983) estudaram a secagem de café em secadores de fluxos concorrentes, utilizando temperaturas do ar de secagem iguais a 80, 100 e 120 °C. Observaram que a melhor eficiência energética foi obtida quando utilizou-se a temperatura do ar de secagem mais alta e que nenhuma das temperaturas utilizadas prejudicou a qualidade final da bebida.

LACERDA FILHO (1986) trabalhou com a secagem intermitente, em fluxos concorrentes, utilizando café cereja, com meia-seca e temperatura do ar de secagem igual a 90 °C.

Verificou que o consumo de energia por quilograma de água evaporada dos grãos, durante a secagem, foi menor neste sistema, quando comparado a outros secadores, sem prejuízos sobre a qualidade da bebida.

TEIXEIRA et al. (1983) estudaram a secagem de café cereja, em fluxos cruzados, e concluíram que esta operação não deverá ser processada com temperaturas superiores a 45 °C na massa de grãos. Os resultados da prova de xícara indicaram que a utilização desta temperatura não comprometeu a qualidade da bebida.

SILVA (1991) estudando a secagem de café em secador intermitente de fluxos contracorrentes, secando café cereja, com meia-seca, utilizando temperaturas do ar de secagem iguais a 60, 80 e 100 °C e fluxo de ar igual a $18,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, recomendou a temperatura igual 100 °C para o ar de secagem, em razão do menor intervalo de tempo de operação, do menor consumo de combustível e da não constatação dos efeitos desta temperatura sobre a qualidade final do produto.

Keener, citado por CASTRO (1991), afirmou que a secagem de café, em sistema intermitente, com ar de secagem aquecido até 70 °C no início da operação, e até 130 °C quando a umidade dos grãos foi igual ou inferior a 22 % b.u. apresentou a mesma bebida que o café secado em terreno.

2.2 – Secador rotativo

O secador rotativo é constituído por um cilindro horizontal ou ligeiramente inclinado que gira em torno de seu eixo longitudinal com velocidade angular de 2 rpm. O produto úmido é carregado pela parte mais elevada do secador, através de um transportador, e descarregado na parte mais baixa por gravidade. O fluxo de ar de secagem é injetado numa câmara situada no centro do cilindro e atravessa radialmente a massa do produto. As vantagens da utilização deste equipamento para a secagem de produtos agrícolas, em especial o café, são: funciona como máquina de pré-limpeza e a secagem é feita uniformemente. Entretanto, o uso deste equipamento apresenta desvantagens: a) baixa eficiência energética; b) alto custo de investimento; e c) alta incidência de danos mecânicos ao produto (SILVA et al., 1995).

Segundo BÁRTHOLO et al. (1989) e CHALFOUN e CARVALHO (1997) é necessário deixar um espaço vazio na posição superior do cilindro rotativo entre 20 e 30 cm, ao final do carregamento de café, para possibilitar a movimentação dos grãos durante o processo de secagem.

MENDES et al. (1995), sem especificar o tipo de café em processamento, relataram a possibilidade de utilização dos secadores rotativos de três maneiras diferentes: a) como pré-secador – trabalha, inicialmente com ar à temperatura ambiente, durante 2 horas, permitindo a remoção da água superficial; a seguir, aquece o ar até 60 °C e reduz a umidade do produto até que os grãos adquiram fluidez, permitindo que a secagem seja concluída em secadores verticais; b) secagem completa – faz-se a pré-secagem no próprio secador rotativo utilizando o procedimento anterior e, em seguida, eleva-se a temperatura do ar até 90 °C e concluindo o processo; e c) secagem complementar – após a pré-secagem em terreiro, a secagem é concluída no secador rotativo com o ar à temperatura igual a 90 °C.

2.3 – Fornalhas

As fornalhas utilizadas para o aquecimento do ar de secagem de produtos agrícolas, compõem-se de uma câmara de combustão, onde os combustíveis devem ser completamente oxidados; uma grelha, que mantém o combustível suspenso; aberturas de entrada e saída, destinadas ao carregamento do combustível e entrada do ar comburente; e um cinzeiro, onde se depositam os resíduos de combustão.

As fornalhas desenvolvidas até o momento apresentam algumas características em comum. As de fogo indireto produzem ar quente próprio para a secagem de sementes e frutas, porém apresentam baixa eficiência térmica e, muitas vezes, danos térmicos às grelhas e aos trocadores de calor. As de fogo direto, de construção mais fácil, energeticamente são mais eficientes e mais freqüentes, apresentam a desvantagem de, ao gerar energia, misturar o ar de secagem com os gases da combustão, podendo contaminar os grãos, inviabilizando, assim, sua comercialização (SILVA, 1998). O rendimento de uma fornalha é a razão entre o calor transferido para o ar de secagem e a energia fornecida pelo combustível durante a queima.

Apesar dos altos rendimentos apresentados por fornalhas a fogo direto, o uso de trocadores de calor como componentes das fornalhas é indispensável para a secagem de alguns produtos como café e cacau, e altamente desejável para outros, como os cereais, as leguminosas e as oleaginosas. Desta forma evita-se a contaminação dos produtos com os gases resultantes da combustão.

O obstáculo para a larga aplicação desses trocadores é sua baixa eficiência, que segundo ROA (1979), situa-se muitas vezes, abaixo de 30 % aumentando consideravelmente o custo final dos produtos.

No entanto, qualquer que seja o tipo de fornalha, seu rendimento depende fundamentalmente da eficiência de queima do combustível. A utilização de novas fontes de energia e o desenvolvimento de fornalhas mais econômicas e eficientes têm sido estudados por vários autores como GOMES (1988), MELO (1987), OLIVEIRA (1996), SAGLIETTI (1991), SILVA e BERBERT (1999), SILVA (1998) e VALARELLI (1991).

SILVA e BERBERT (1999) propuseram um modelo de fornalha a carvão vegetal para aquecimento direto do ar de secagem, cuja principal vantagem é a economia de combustível e a manutenção constante da temperatura do ar. Trata-se de um modelo ainda não estudado em sua totalidade, mas cujos primeiros ensaios foram suficientes para a sua recomendação.

SAGLIETTI (1991) verificou, numa fornalha a lenha, eficiência energética média de 28 % com sistema de aquecimento indireto do ar de secagem e concluiu que o melhor rendimento operacional foi obtido com a maior abertura nos tubos do trocador de calor e quanto maior o número de tubos abertos, maior o tempo de permanência do ar junto à fornalha, aumentando a eficiência da troca de calor.

MELO (1987) mediu a eficiência de uma fornalha à lenha, a fogo direto e fluxo de ar descendente, em função da altura da carga sobre a grelha e constatou que a melhor eficiência (80,54 %) ocorreu quando a carga de combustível era $\frac{1}{4}$ da altura da câmara de combustão, e que a vazão de gases na saída da fornalha era $0,421 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. A maior média de excesso de ar foi 7,43 e a menor média de consumo de madeira foi $13,73 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$.

SILVA (1998) testou uma fornalha com aquecimento direto do ar de secagem, utilizando carvão como fonte de energia e constatou ser viável para secagem do café, uma vez que o ar quente produzido era livre de fumaça e de odores. O autor ressaltou, ainda, que a presença de pequenas partículas de carvão no ar de secagem, provavelmente, não afeta a qualidade do produto, visto que os compostos fenólicos encontrados na madeira foram retirados durante o processo de carbonização da lenha para produção do carvão.

CARDOSO SOBRINHO (2001), utilizando secador rotativo com capacidade de 15 m^3 , acoplado a uma fornalha a fogo indireto na secagem de café em coco, constatou um consumo médio de combustível igual a 49,3; 48,0 e $49,0 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ de lenha para redução de umidade de 39,0 para 11,0; 41,0 para 11,0 e 34,0 para 12,0 % b.u., respectivamente.

2.4 – Combustíveis usados na secagem do café

Combustíveis são substâncias ricas em carbono e hidrogênio que, sob condições apropriadas de temperatura e pressão e na presença de oxigênio participam de reações químicas onde ocorre a liberação de energia e de calor (SAGLIETTI, 1991).

O modo mais prático e fácil de produzir energia de biomassa é através da combustão da madeira ou de seus rejeitos. Embora fossem feitas diversas previsões sobre a queda do consumo de madeira para fins energéticos, atualmente ela ainda se mantém como a terceira fonte energética do país, representando 17 % do total de energia consumida (BRASIL, 2000). A madeira-combustível possui a vantagem de ser renovável, ter baixo teor de cinzas e quantidade ínfima de enxofre. No entanto, é volumosa e tem baixo poder calorífico quando comparada a outros combustíveis.

Segundo SILVA (1998) o carvão vegetal apresenta inúmeras vantagens que o torna propício à utilização na secagem de produtos agrícolas. Por ser um combustível oriundo da pirólise da madeira, grande parte dos compostos fenólicos já foram eliminados durante o processo de carbonização. Seu poder calorífico é superior ao da lenha, apresenta fácil manuseio e estocagem, baixo teores de cinzas, finos e enxofre, baixa friabilidade e ausência de fumaça e odor ao queimar.

Apesar destas vantagens e de o país ser responsável por um quarto da produção mundial de carvão vegetal (FREITAS, 1997) o uso deste combustível na secagem de produtos agrícolas não é comum. Acredita-se que as principais razões para este fato se devam ao processo usualmente adotado na produção do carvão que, além de primitivo, demanda tempo e mão-de-obra; disponibilidade de tecnologia de baixo custo para a gaseificação do carvão vegetal em pequenas fornalhas e, o desconhecimento das vantagens deste material como combustível para a secagem de produtos agrícolas.

2.5 – Avaliação energética dos sistemas de secagem

A globalização da economia e a atual política de preços, imposta aos produtos agrícolas, levaram os produtores a análises mais detalhadas do sistema. Em um contexto de alto custo de energia e baixos preços dos produtos agrícolas, torna-se indispensável considerar as relações entre consumo de energia e as qualidades inerentes ao produto, antes e após o processamento (LACERDA FILHO, 1998).

Hall, citado por LACERDA FILHO (1998), definiu três expressões para a eficiência de energia nos processos de secagem, ou seja, eficiência de combustível, eficiência térmica e eficiência de secagem. A eficiência de combustível é a razão entre a energia utilizada na evaporação da água e a energia fornecida ao sistema. A energia total corresponde a soma de energia para aquecer o ar, operar o secador, resfriar e movimentar o produto, a partir de determinadas condições iniciais. A eficiência térmica é a razão entre o calor utilizado na secagem e o calor fornecido, relacionando-se apenas o processo térmico.

De GRANDI (1999) avaliando um protótipo de secador de camada fixa para café despulpado com sistema de revolvimento mecânico, sob diferentes intervalos de revolvimento e condições de secagem e verificou que o secador apresentou consumo específico de energia de 27.645, 30.864, 29.510, 29.300 e 31.373 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, para os testes com intervalos de revolvimento de 2, 3, 4, 5 e 6 h, respectivamente, em todos os testes a temperatura do ar de secagem na massa de café foi mantida próxima a 40 °C.

BAKKER-ARKEMA et al. (1978) propuseram uma metodologia para avaliação do desempenho de secadores com base em um número reduzido de testes de campo, sob determinadas condições padronizadas, acompanhados da simulação do processo de secagem, com o objetivo de reduzir o tempo e o custo com os testes experimentais. A avaliação da qualidade dos grãos secos complementam os testes de campo. SABIONI (1986), entretanto, verificou que as condições padronizadas nessa metodologia, não representam a realidade brasileira, quando avaliou um sistema de secagem para milho.

OSÓRIO (1982) e SILVA (1991), adaptaram a metodologia proposta por BAKKER-ARKEMA et al (1978) para a avaliação do desempenho de secadores de café. Tiveram, porém, dificuldades em fixar alguns parâmetros para a padronização dos testes, principalmente, os relacionados ao produto, como umidade inicial e homogeneização de maturação.

Na secagem de café, SILVA (1991) trabalhou com secador de fluxos contracorrentes e utilizou temperatura do ar de secagem de 60; 80 e 100 °C, obtendo consumos específicos de energia de 8.300; 7.547 e 6.442 kJ.kg⁻¹ de água evaporada respectivamente.

PINTO (1993), trabalhando com secador intermitente de fluxos contracorrente / concorrente à temperaturas de 80, 100 e 120 °C, com café em coco obteve valores no consumo específico médio de energia de 6.068; 5.657 e 5.685 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, respectivamente.

LACERDA FILHO (1986), realizando a avaliação dos seguintes sistemas de secagem de café: secagem em terreiros, secagem em secador de leito fixo, combinação entre secagem em terreiros e secagem em leito fixo, combinação entre a secagem em terreiro e secagem em fluxos

concorrentes e combinação entre secagem em leito fixo e secagem em fluxos concorrentes, concluiu que técnica e operacionalmente o melhor desempenho foi obtido no último sistema.

Teixeira et al., citado por CASTRO (1991), estudaram o desempenho de vários secadores mecânicos e concluíram que o café que sofreu pré-secagem em secador de leito fixo ou em terreiro apresentou, na maioria dos casos, melhor qualidade do produto.

CARDOSO SOBRINHO (2001) trabalhando com secador rotativo, com capacidade de 15 m³, com temperatura do ar de secagem igual a 60 °C, utilizando café em coco, obteve valores do consumo específico de energia médio de 14.817,8; 16.211,5 e 19.946,0 kJ.kg⁻¹ de água evaporada para redução do teor de água de 39,0 para 11,0; 41,0 para 11,0 e 34,0 para 12,0 % b.u., respectivamente.

Até recentemente, o consumo de energia e o rendimento de um secador eram parâmetros a que se dava maior ênfase na escolha do sistema. Dessa forma, muitos trabalhos foram feitos com os objetivos únicos de conservação e racionalização de energia (CORDEIRO, 1982). Atualmente, além dessa preocupação, os danos mecânicos do produto causados pelos secadores e métodos de secagem sobre a qualidade do produto têm sido assunto de importância entre pesquisadores, processadores e fabricantes de equipamentos.

2.6 – Qualidade do café

A qualidade do café é fator determinante de seu preço e imprescindível para a aceitação do produto no mercado internacional. Portanto, há a tendência, cada vez maior, de redução de mercado para cafés de baixa qualidade, ou seja, o produtor brasileiro que visa a obtenção de lucro com a cafeicultura deverá se especializar na produção de café de qualidade.

A qualidade do café, que está relacionada às características dos grãos como cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida, depende de vários fatores: a) da composição química do grão, determinada por fatores genéticos, ambientais e culturais; b) do processo de preparo e conservação do grão, no qual intervém a ação do teor de água e da temperatura de secagem; e c) da torração e preparo da bebida (Berbert et al., citados por LACERDA FILHO, 1986).

O café pode ser classificado quanto a tipo, peneira e bebida. No primeiro caso, classifica-se o produto segundo seu aspecto e sua quantidade de defeitos. O aspecto é influenciado pela coloração dos grãos. Os defeitos provêm de grãos imperfeitos ou de impurezas, que podem ser presença de pergaminho, pedaços de pau, pedras, cascas e terra.

A classificação quanto à bebida tem como base o gosto ou o cheiro que o café apresenta na prova de xícara (Quadro 1). A bebida do café é influenciada pela presença de grãos verdes, verde-pretos, pretos ou ardidos, ou, ainda, pela ocorrência de fermentações nos grãos durante a fase de colheita ou preparo.

Quadro 1 – Classificação oficial de café pela bebida

Classificação	Características
Estritamente mole	Bebida de sabor suavíssimo e adocicado
Mole	Bebida de sabor suave acentuado e adocicado
Apenas mole	Bebida de sabor suave, porém com leve adstringência
Dura	Bebida com sabor adstringente, gosto áspero
Riada	Bebida com leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico
Rio	Bebida com sabor forte desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico
Rio Zona	Bebida de sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato

Fonte: BÁRTHOLO e GUIMARÃES (1997).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Procedimentos experimentais

O trabalho foi realizado no Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, localizado no município de Viçosa, Minas Gerais.

O produto utilizado foi café (*Coffea arabica* L.) cereja lavado, da variedade Catuaí, procedente do município de Araponga, Minas Gerais. A colheita do café e os testes experimentais aconteceram entre os meses de junho e setembro de 2001 pelo sistema de derriça sobre pano, quando o teor de água dos frutos estavam entre 60 e 70 % b.u. O café, depois de colhido, foi lavado e separados os frutos de maior massa específica (cereja) dos de menor massa específica (coco). Os testes experimentais foram realizados utilizando-se o café cereja lavado.

O experimento foi delineado para a execução em dois tratamentos e três testes por tratamento, conforme se segue:

Tratamento 1 – secou-se o café cereja lavado, nos dois secadores, comercial e modificado, cujo teor de água inicial variou entre 60 e 70 % b.u., até que o teor final de água atingisse um valor entre 11 e 12 % b.u.

Tratamento 2 – o café cereja lavado, após ser submetido a uma pré-secagem em terreiro, até que o teor de água atingisse um valor entre 30 e 40 % b.u., foi submetido à secagem nos secadores comercial e modificado, até que o teor final de água atingisse um valor entre 11 e 12 % b.u.

Em todos os testes a temperatura média do ar de secagem foi de 60 ± 5 °C. Uma quantidade de café foi extraída dos lotes constituintes de cada teste e colocados ao sol para a

secagem em terreiro pavimentado com cimento, cujo objetivo foi obter a testemunha e avaliar o consumo específico de energia do sistema.

Antes da operação de carga do secador e depois da secagem completa do produto, este foi pesado em balança de plataforma, com precisão de 0,1 kg, para obtenção da massa inicial e final do mesmo.

O café cereja lavado, utilizado nos dois tratamentos, foi colocado nos secadores, comercial e modificado, para o início da secagem. Os valores das temperaturas iniciais da massa de grãos e do ar ambiente foram medidos antes de se colocar o fogo na fornalha. Os ventiladores centrífugos responsáveis pela movimentação do ar só foram acionados após a estabilização da combustão nas duas fornalhas.

Para a análise do sistema de secagem foi utilizada a metodologia proposta por BAKKER-ARKEMA et al. (1978). Por esta metodologia os secadores foram analisados considerando-se três testes por tratamento. Nos sistemas de secagem contínua os autores propuseram a duração de 24 horas para cada teste e nos sistemas de secagem em lotes recomendaram a realização de três testes consecutivos por tratamento. Tal procedimento se justifica pela impossibilidade de se obter repetições das avaliações de sistemas de secagem, considerando-se, principalmente, as variações ambientais, do material biológico (grãos) e da própria máquina.

Nos parâmetros relativos ao produto, mediu-se os teores de água inicial e final (% b.u.), as massas específicas inicial e final ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), as massas inicial e final (kg) e a análise de qualidade final do produto.

Nos parâmetros relativos ao ar de secagem foram medidas as temperaturas inicial e final do ar intergranular ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do ar de exaustão ($^{\circ}\text{C}$), temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$), temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa do ar ambiente (%). Com relação aos parâmetros do secador foram medidas, a pressão estática (Pa.), o fluxo de ar de secagem ($\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$); a área de secagem (m^2) e a espessura da camada (m).

Nos parâmetros relativos ao combustível foram medidos: o poder calorífico inferior ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), o consumo ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) e o teor de água (% b.u.). Com relação ao desempenho do equipamento determinou-se a eficiência ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ de água evaporada), a duração do teste (h) em cada tratamento, a redução do teor de água do produto (% b.u.) e o consumo de energia elétrica (kWh).

3.2 – Sistemas de secagem

Foram utilizados dois secadores rotativos, com distribuição radial de ar, fornecidos pela Pinhalense Máquinas Agrícolas SA., além de dois terreiros pavimentados com cimento.

Um dos secadores teve o sistema de distribuição de ar modificado, conforme o proposto por SILVA (2001), para eliminar a fuga de ar quente na parte superior, o que aumenta à medida que ocorre a secagem do produto e sua conseqüente redução de volume. A capacidade estática de cada secador era igual a $1,6 \text{ m}^3$. A sua estrutura era constituída por um cilindro externo, com 1,5 m de diâmetro e 1,0 m de comprimento, construído em chapa metálica perfurada. As suas bases foram construídas de chapas metálicas lisas, reforçadas com estruturas de perfil cantoneiras, que giram em torno de um eixo longitudinal com velocidade de 2 rpm. O acionamento do cilindro foi feito por um motor elétrico, com potência de 735,5 W, acionado por um sistema de polias e correias e por um conjunto de engrenagens, objetivando uma redução de força e velocidade angular. A Figura 1 ilustra duas vistas deste secador. O sistema de ventilação foi composto por um ventilador centrífugo instalado em uma das bases do cilindro. A distribuição de ar na massa de grãos foi feita através de um duto localizado longitudinalmente no centro do cilindro. A passagem de ar no duto para a massa de grãos foi feita através de chapas difusoras perfuradas, fixadas radialmente ao duto central.

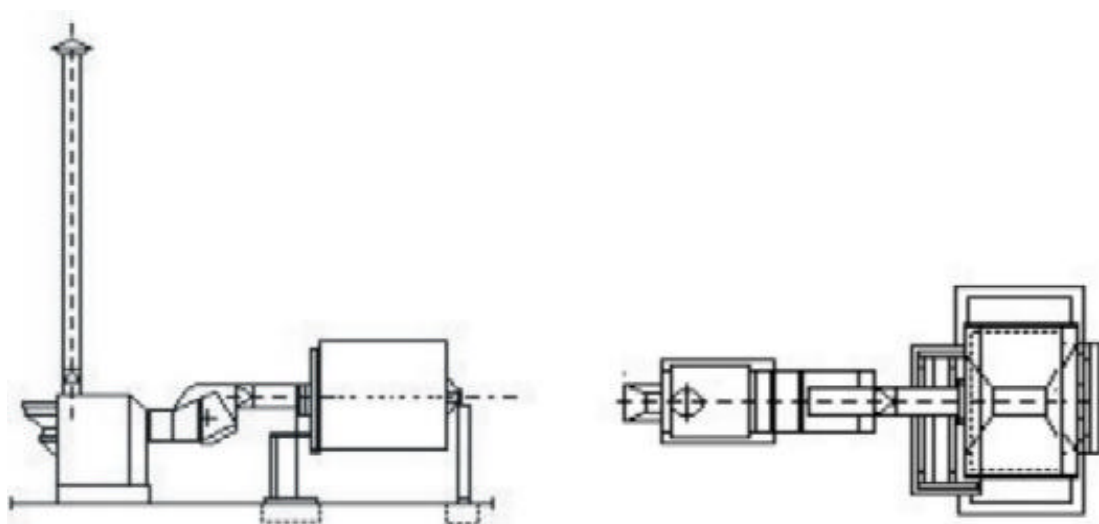


Figura 1 – Croqui: vista lateral e superior do conjunto fornalha-secador rotativo.

3.2.1 – Secador rotativo comercial

Foi utilizado de acordo com as recomendações técnicas do fabricante. Seu sistema de ventilação foi composto por um ventilador centrífugo, de potência elétrica igual a 1,47 kW, trabalhou com uma vazão média de ar igual a $0,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e pressão estática média igual 29 Pa.

O aquecimento do ar de secagem neste secador ocorreu com a queima da lenha, em uma fornalha a fogo indireto. A Figura 2a ilustra o secador utilizado nos testes.

3.2.2 – Secador rotativo modificado

No secador comercial foram feitas algumas modificações técnicas e operacionais, segundo SILVA (2001), caracterizando-o como secador rotativo modificado. A Figura 2b ilustra o secador utilizado nos testes.



Figura 2 – Secador rotativo comercial (a) e modificado (b).

As modificações técnicas realizadas foram propostas para reduzir as perdas de energia, através do maior fluxo de ar no terço superior do secador, causado pela crescente redução de volume dos grãos durante a secagem. Procedeu-se da seguinte forma: direcionou-se o fluxo de ar apenas para a parte inferior do secador, onde se concentra a massa de grãos durante a secagem, eliminando-se as chapas difusoras perfuradas que estavam alternadas (Figura 3a) fixando-as consecutivamente (Figura 3b). Uma chapa metálica lisa foi colocada externamente, cobrindo a metade do perímetro cilíndrico do secador, obstruindo seus furos. Buscou-se, com isso, a uniformidade da distribuição do ar de secagem durante todo o processo. A Figura 4 mostra os detalhes das modificações feitas no secador rotativo comercial.

Em virtude destas modificações técnicas, estabeleceram-se critérios para a movimentação dos grãos, atuando no tempo de rotação do secador. No secador rotativo comercial a massa de grãos foi revolvida continuamente, do início ao final da secagem. No sistema modificado a movimentação dos grãos foi feita em intervalos regulares de 1 hora, durante 5 minutos.

O sistema de ventilação foi composto por um ventilador centrífugo de potência elétrica de 1,47 kW. Trabalhou com uma vazão média igual a $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e pressão estática média de 147 Pa.

O aquecimento do ar de secagem, neste secador, ocorreu com a queima do carvão vegetal, exceto em um dos testes, que utilizou o sabugo de milho na fomalha a fogo direto.

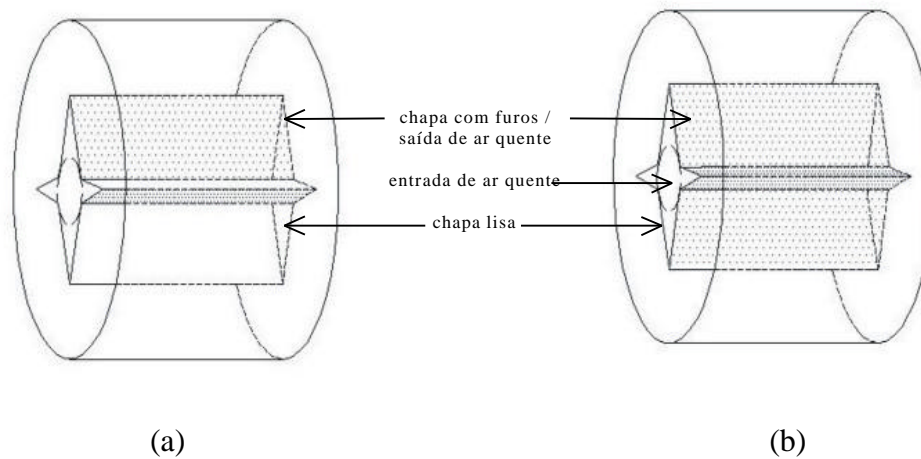


Figura 3 – Croqui: detalhe da chapa difusora do duto central antes (a) e após (b) modificação



Figura 4 – Detalhes das modificações ocorridas no secador rotativo

3.2.3 – Secagem em terreiro

O café utilizado no tratamento 2 foi seco no terreiro até que o teor de água atingisse um valor entre 30 e 40 % b.u., para depois ser colocado nos secadores. A pré-secagem ocorreu na fazenda. Uma amostra com massa entre 40 e 60 kg do produto úmido, extraída do produto utilizado em cada teste, nos dois tratamentos, devidamente identificada, foi secada em terreiro, (na Área de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais, Figura 5), a fim de comparar sua qualidade com a do produto secado nos secadores rotativos.

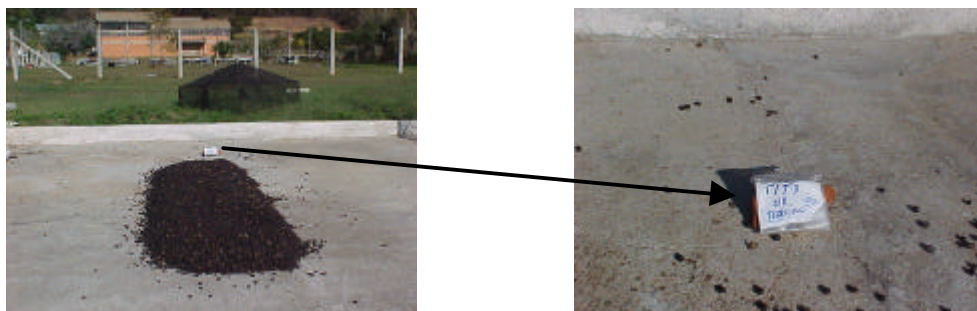


Figura 5 – Terreiro utilizado para a secagem das amostras testemunhas

3.3 – Execução experimental

3.3.1 – Teor de água do produto e massa específica

Foram retiradas, aleatoriamente, amostras de café no início do processo, em intervalos regulares de 3 horas durante a secagem e no final da operação, com o objetivo de medir a variação do teor de água e da massa específica, em diferentes profundidades na massa do produto.

O teor de água do produto foi medido pelo método oficial de estufa, com circulação forçada de ar, a 105 ± 3 °C, durante 24 h. Foram obtidas três repetições por amostra com massa de aproximadamente 30 g (BRASIL,1992). Entretanto, durante o processo, a variação do teor de água dos grãos foi medida pelo método de Evaporação Direta da Água em Banho de Óleo – EDABO (SABIONE et al., 1984), a fim de obter respostas rápidas.

A massa específica foi medida em balança de peso hectolítrico com capacidade de 250 mL.

A Figura 6 ilustra os equipamentos utilizados para medição de teor de água e massa dos grãos.

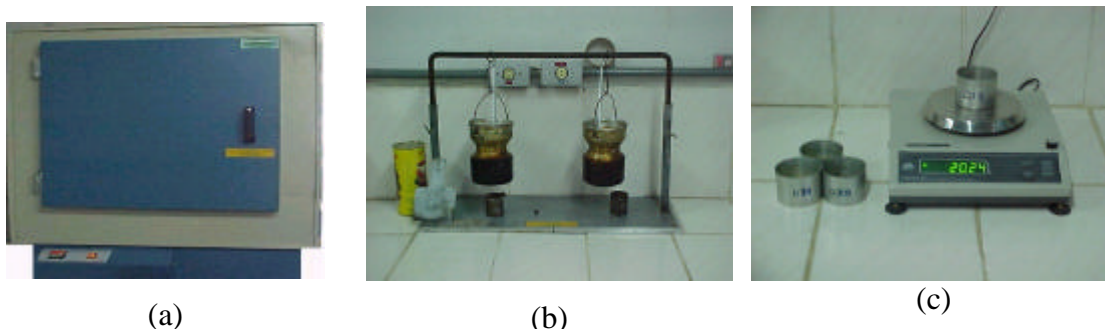


Figura 6 – Estufa (a), EDABO (b) e balança digital (c).

3.3.2 – Tempo

Um relógio digital foi utilizado para monitorar o tempo de secagem, bem como, a rotação do secador modificado, durante o revolvimento da massa de café, o qual foi realizado em intervalos regulares de 1 hora, com duração de 5 minutos.

3.3.3 – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas em termohigrômetros, em uma subestação meteorológica instalada na área experimental, em intervalos regulares de 3 horas. A mesma encontrava-se a uma distância de aproximadamente 50 m dos

secadores e instalados conforme os padrões estabelecidos pelo serviço de meteorologia do Ministério da Agricultura e Abastecimento.

3.3.4 – Temperaturas do ar intergranular, de secagem e de exaustão

Foram medidas através de um sistema de termometria, sendo as leituras feitas em um termômetro digital, com precisão igual a 0,1 °C, previamente calibrado, utilizando como elemento sensor termopares de cobre-constantan. Uma chave seletora de 12 canais foi utilizada como seletora e acionadora dos pontos de leitura. As leituras foram realizadas em intervalos regulares de 3 horas. Admitiu-se, conforme THOMPSON et al. (1968) que a temperatura do ar intergranular e a da massa de grãos estivessem em equilíbrio.

Para o monitoramento da temperatura do ar de secagem considerou-se a média entre os três pontos representados pelo número 3 ao longo do eixo principal (Figura 7). Para a temperatura do ar de exaustão considerou-se o valor médio dos pontos representados pelos números 1 e 4. Para a temperatura da massa dos grãos considerou-se o valor médio dos pontos representados pelo número 2. As leituras foram feitas com o sistema de ventilação desligado, após a parada do rotor do ventilador, ocorrido entre 3 e 5 minutos após desligamento do equipamento. A figura 7 ilustra, também, as distâncias entre os pontos.

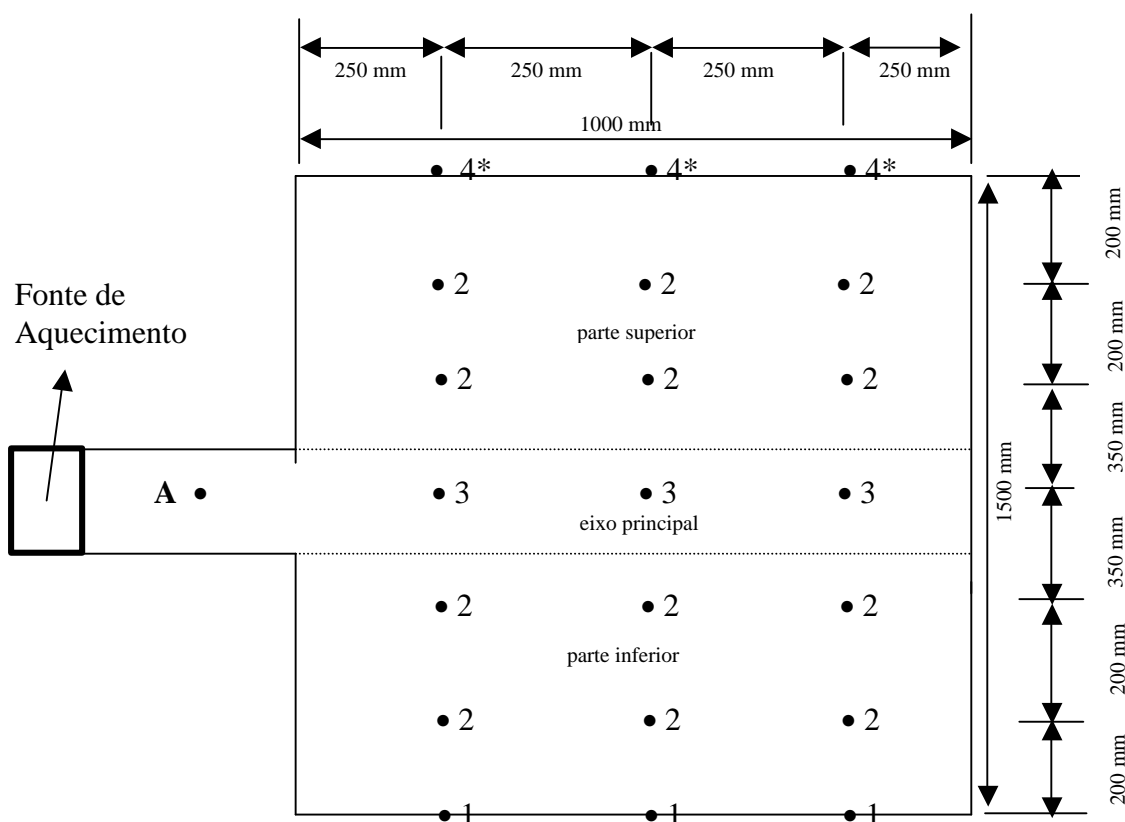


Figura 7 – Croqui: pontos de medição das temperaturas do ar intergranular, do ar de secagem, de exaustão no secador rotativo e da pressão estática.

* o secador rotativo modificado não apresenta o ponto 4 superior.

3.3.5 – Vazão específica do ar e pressão estática

A vazão específica do ar de secagem foi obtida a partir da curva característica do ventilador, conforme COSTA (1978).

A pressão estática foi medida em intervalos regulares de 3 horas, utilizando um manômetro diferencial em "U" (Figura 8), no ponto A, conforme a figura 7.



Figura 8 – Manômetro de coluna d'água em "U"

3.3.6 – Aquecimento do ar de secagem

3.3.6.1 – Secador comercial

Para o aquecimento do ar de secagem, foi utilizada uma fornalha de fogo indireto (Figura 9a), que utilizou como combustível, lenha de eucalipto (*Eucalyptus grandis*).

3.3.6.2 – Secador modificado

Para o aquecimento do ar de secagem, foi utilizada uma fornalha a fogo direto (Figura 9b) construída e testada por SILVA et al. (2000), que utilizou como combustível, carvão vegetal obtido da lenha de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), exceto teste 1, tratamento 1 que utilizou como combustível sabugo de milho.



(a)



(b)

Figura 9 – Fornalha a fogo indireto (a) e a fogo direto (b).

3.3.7 – Teor de água e poder calorífico do combustível

Foram retiradas amostras de carvão vegetal, lenha e sabugo de milho para a medição de teor de água e do poder calorífico. A teor de água do carvão, lenha e do sabugo de milho foram medidos a partir de uma amostra de 200 g, com 5 repetições cada, em estufa a 105 ± 3 °C, até atingirem massa constante. O poder calorífico superior (PCS) foi medido em uma bomba calorimétrica modelo Malher (MELO, 1987).

Para a determinação do poder calorífico inferior (PCI), utilizou-se a equação 1, proposta por Tiliman, citada por OSÓRIO (1982):

$$PCI = PCS * (1 - 0,0114 * U) \quad (1)$$

em que

PCI = poder calorífico inferior, kJ.kg^{-1} ;

PCS = poder calorífico superior, kJ.kg^{-1} ; e

U = teor de água do combustível, % bu.

3.3.8 – Consumo específico de energia do secador

O consumo específico de energia foi medido conhecendo-se o poder calorífico inferior do combustível (equação 2), conforme FREIRE (1998):

$$E_r = \frac{PCI * c * t * (100 - U_f)}{M * (U_i - U_f)} \quad (2)$$

em que

E_r = consumo específico real de energia, kJ.kg^{-1} de água evaporada;

c = consumo de carvão, kg.h^{-1} ;

t = tempo total da secagem, h;

M = massa inicial do produto, kg;

U_i = teor de água inicial do produto, % bu.;

U_f = teor de água final do produto, % bu.;

A medida da massa do combustível utilizado foi feita em uma balança de plataforma com uma precisão de 0,1 kg .

3.3.9 – Área de secagem

Como na literatura não há trabalho enfocando o cálculo da área de secagem em secador rotativo horizontal, para a determinação da área de secagem no secador rotativo

horizontal, considerou-se a área média do secador como sendo a área de secagem. A Figura 10 mostra essa área para os secadores rotativo comercial e modificado, respectivamente. No secador rotativo modificado considerou-se a metade da área de secagem do secador rotativo comercial, já que no secador rotativo modificado o fluxo de ar foi direcionado para uma única direção (parte inferior representando 50 % da área média no secador rotativo comercial).

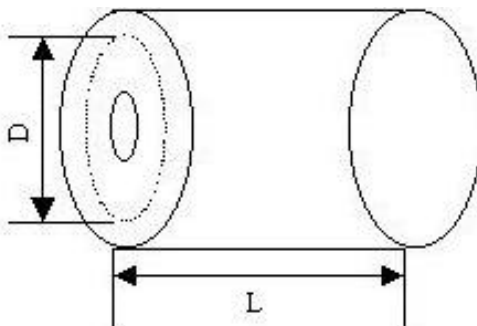


Figura 10 – Croqui: detalhe da área de secagem no secador rotativo

As equações 3 e 4 foram utilizadas para o cálculo das áreas:

$$A_{COM} = p \cdot D \cdot L \quad (3)$$

$$A_{MOD} = \frac{p \cdot D}{2} \cdot L \quad (4)$$

em que

A_{COM} = área média de secagem no secador rotativo comercial, m^2 ;

A_{MOD} = área média de secagem no secador rotativo modificado, m^2 ;

D = diâmetro médio da área de secagem, m; e

L = comprimento do secador, m.

3.3.10 – Qualidade do Produto

As análises da qualidade final do produto foram realizadas pela INCOFEX ARMAZÉNS GERAIS LTDA. Foram obtidas amostras finais do produto relativas aos testes realizados e testemunhas, conforme os critérios estabelecidos por MATIELLO (1991) e THOMAZIELLO (1996), com o objetivo de analisar o tipo e a bebida do café.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os resultados obtidos na avaliação dos secadores rotativos, nos tratamentos 1 e 2, respectivamente. Observa-se, que não foi possível manter a temperatura do ar de secagem em 60 °C, sendo observados valores médios de 59,3±9,8; 62,0±1,8 e 60,3±1,6 °C no secador rotativo modificado (MOD) e 56,1±10; 61,2±6,5 e 59,6±2,7 °C, no secador rotativo comercial (COM), nos testes 1, 2 e 3, respectivamente, para o tratamento 1. Para o tratamento 2, os valores médios da temperatura do ar de secagem foram de 62,6±0,7; 61,5±1,2 e 62,1±1,2 °C no secador rotativo modificado e 58,8±3,9; 62,0±2,0 e 60,2±2,2 °C no secador rotativo comercial, nos testes 1, 2 e 3, respectivamente.

O tempo de secagem nos dois secadores rotativos foi aproximadamente igual. Apenas o teste 1, tratamento 1, apresentou maior diferença, fato ocorrido porque a grelha, utilizada na fornalha a fogo direto, não estava dimensionada para a queima do sabugo de milho, impossibilitando, desta forma, a manutenção da temperatura do ar de secagem próximo à desejada, isto é, 60 °C.

No teste 3, tratamento 1, no secador rotativo comercial, a pressão estática apresentou um valor médio de 147 Pa (15±0,5 mmca), enquanto nos testes 1 e 2 esse valor foi de 19,6 Pa (2,0±0,5 mmca). Isso ocorreu devido à obstrução dos furos da chapa difusora do duto de distribuição do ar de secagem, causado pelo despulpamento do café cereja lavado, durante a fase inicial da secagem. (Figura 11).



Figura 11 – Duto de distribuição do ar de secagem obstruído.

Tabela 1 – Resultados observados experimentalmente nos três testes referentes ao tratamento 1, no secador rotativo modificado e no secador rotativo comercial

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	MOD	COM	MOD	COM	MOD	COM
1) Do produto						
Teor de água inicial, % bu	68,0	69,0	66,0	65,8	63,2	61,0
Teor de água final, % bu	10,7	10,9	10,5	10,8	11,5	11,0
Temperatura inicial, °C	13,0	12,1	18,6	22,1	17,2	18,9
Temperatura final, °C	56,7	55,3	59,0	58,3	57,3	59,5
Massa específica inicial, kg.m ⁻³	537,5	537,5	584,6	584,6	574,0	574,0
Massa específica final, kg.m ⁻³	457,6	429,6	407,3	409,1	406,7	424,2
Massa inicial, kg	977,0	1137,0	941,5	1065,5	1074,0	976,0
Massa final, kg	350,2	395,9	357,9	408,3	446,6	428,0
2) Do ar						
Temperatura de secagem, °C	59,3	56,1	62,1	61,2	60,3	59,6
Temperatura ambiente, °C	15,1	14,9	20,7	20,7	20,0	20,0
Temperatura exaustão superior, °C	---	41,6	---	44,2	---	41,4
Temperatura. exaustão inferior, °C	32,5	27,1	34,6	33,8	37,0	32,2
Umidade relativa ambiente, %	80,4	80,8	77,8	77,8	76,3	76,3
3) Do secador						
Fluxo de ar, m ³ .min ⁻¹ .m ⁻²	50,4	20,9	50,4	20,9	50,4	19,8
Espessura da camada, m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Área de secagem, m ²	1,4	2,8	1,4	2,8	1,4	2,8
Pressão estática, mmca	15,0	2,0	15,0	2,5	14,0	15,0
4) De energia						
Tipo de combustível	sabugo	lenha	carvão	lenha	carvão	lenha
Massa de combustível, kg	453,9	714,9	156,5	531,0	193,5	495,0
Energia elétrica, kWh	46,89	64,1	44,1	63,5	42,8	61,6
5) Do desempenho						
Duração do teste, h	51,0	48,0	48,0	48,0	46,5	46,5
Redução no teor de água, % bu	57,3	58,1	55,5	55,0	51,7	49,9

Tabela 2 – Resultados obtidos experimentalmente nos três testes referentes ao tratamento 2, no secador horizontal rotativo modificado (MOD) e no secador horizontal rotativo comercial (COM)

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	MOD	COM	MOD	COM	MOD	COM
1) Do produto						
Teor de água inicial, % bu	31,7	32,6	40,2	40,1	35,5	33,6
Teor de água final, % bu	10,7	10,5	10,0	11,9	11,5	10,1
Temperatura inicial, °C	17,1	17,0	18,9	17,9	19,1	18,5
Temperatura final, °C	54,8	44,9	51,3	44,3	52,8	45,7
Massa específica inicial, kg.m ⁻³	407,5	407,5	415,3	415,3	391,6	391,6
Massa específica final, kg.m ⁻³	361,7	402,7	387,6	409,5	387,6	402,7
Massa inicial, kg	664,8	770,0	875,0	886,0	723,5	780,0
Massa final, kg	508,6	578,8	581,0	602,9	527,3	575,6
2) Do ar						
Temperatura de secagem, °C	62,6	58,8	61,5	62,0	62,1	60,2
Temperatura ambiente, °C	17,5	17,5	19,3	19,3	20,1	20,1
Temperatura exaustão superior, °C	---	32,3	---	31,6	---	31,2
Temperatura exaustão inferior, °C	22,1	20,4	22,1	21,4	22,7	22,2
Umidade relativa ambiente, %	92,5	92,5	81,8	81,8	74,4	74,4
3) Do secador						
Fluxo de ar, m ³ .min ⁻¹ .m ⁻²	50,7	20,8	50,3	20,8	50,3	20,8
Espessura da camada, m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Área de secagem, m ²	1,4	2,8	1,4	2,8	1,4	2,8
Pressão estática, mmca	11,0	3,0	12,0	3,0	14,0	3,0
4) De energia						
Tipo de combustível	carvão	lenha	carvão	lenha	carvão	Lenha
Massa de combustível, kg	87,8	258,2	96,5	297,0	73,0	222,7
Energia elétrica, kWh	19,3	27,8	22,1	30,5	16,6	23,8
5) Do desempenho						
Duração do teste, h	21,0	21,0	24,0	23,0	18,0	18,0
Redução de umidade, % bu	21,0	22,1	30,2	28,1	24,0	23,6

4.1 – Temperatura do ar de secagem e ambiente e umidade relativa do ar ambiente

Os valores das temperaturas do ar ambiente e do ar de secagem, e da umidade relativa do ar ambiente encontram-se representadas nas figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17.

A temperatura do ar de secagem não se manteve constante durante a realização dos testes, nos dois secadores rotativos, modificado e comercial. No entanto, no secador rotativo modificado foi mais homogênea, devido ao fato do aquecimento do ar ser realizado em uma fornalha a fogo direto, com alimentação contínua de combustível, exceto no teste 1 do tratamento 1, quando se utilizou sabugo de milho como combustível (Figura 12). No secador rotativo comercial o aquecimento do ar foi realizado em uma fornalha a fogo indireto exigindo abastecimento manual de combustível.

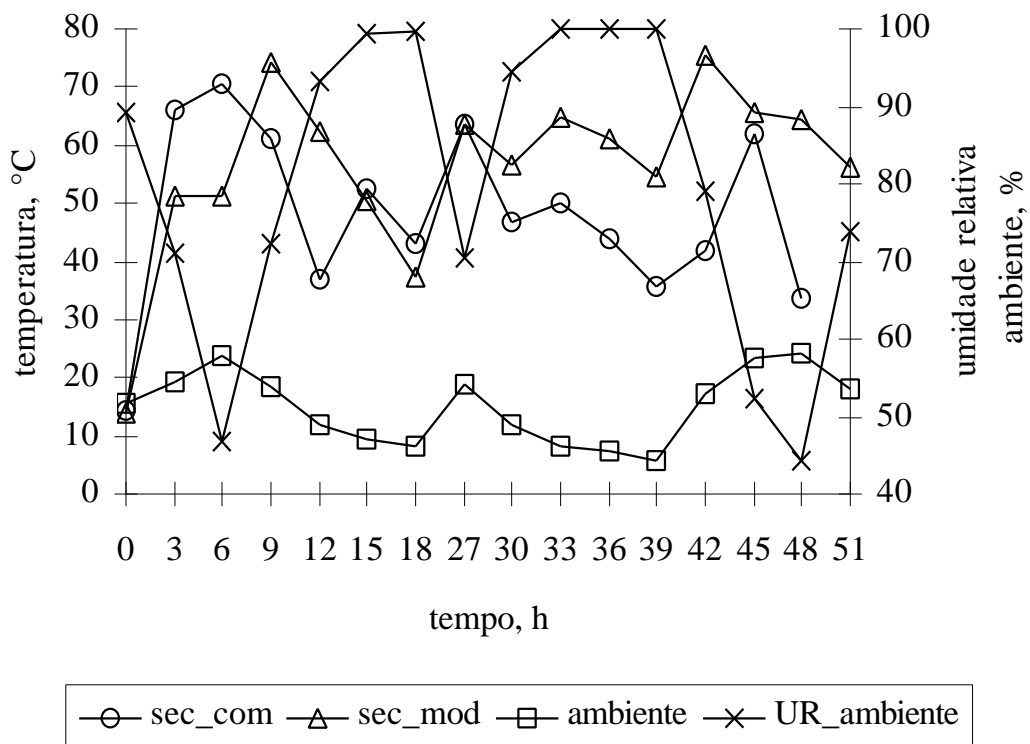


Figura 12–Temperatura do ar ambiente, do ar de secagem nos dois secadores rotativos e umidade relativa em função do tempo de secagem, teste 1, tratamento 1.

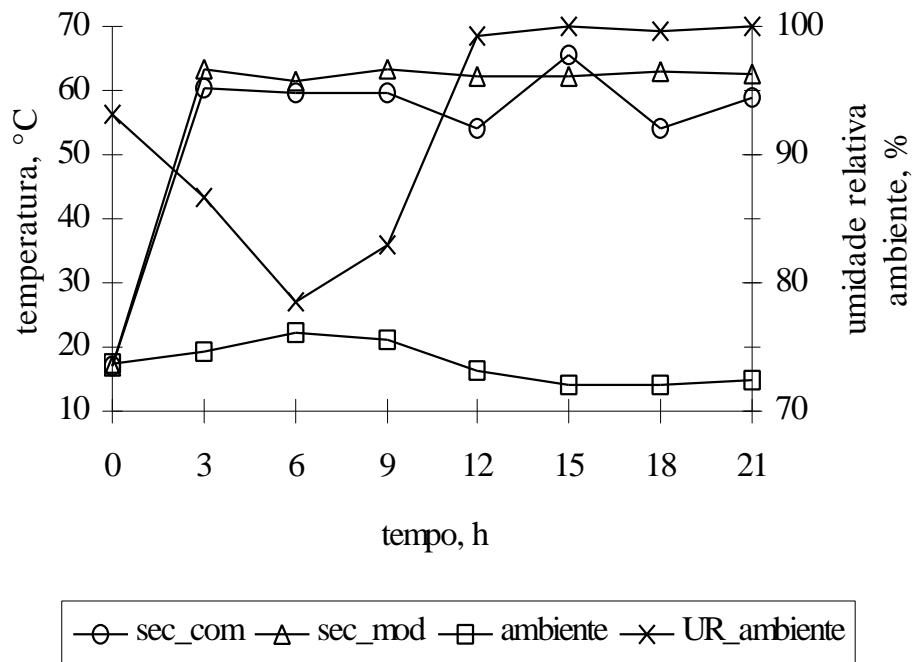


Figura 13 – Temperatura do ar ambiente, do ar de secagem nos dois secadores rotativos e umidade relativa em função do tempo de secagem, teste 1, tratamento 2.

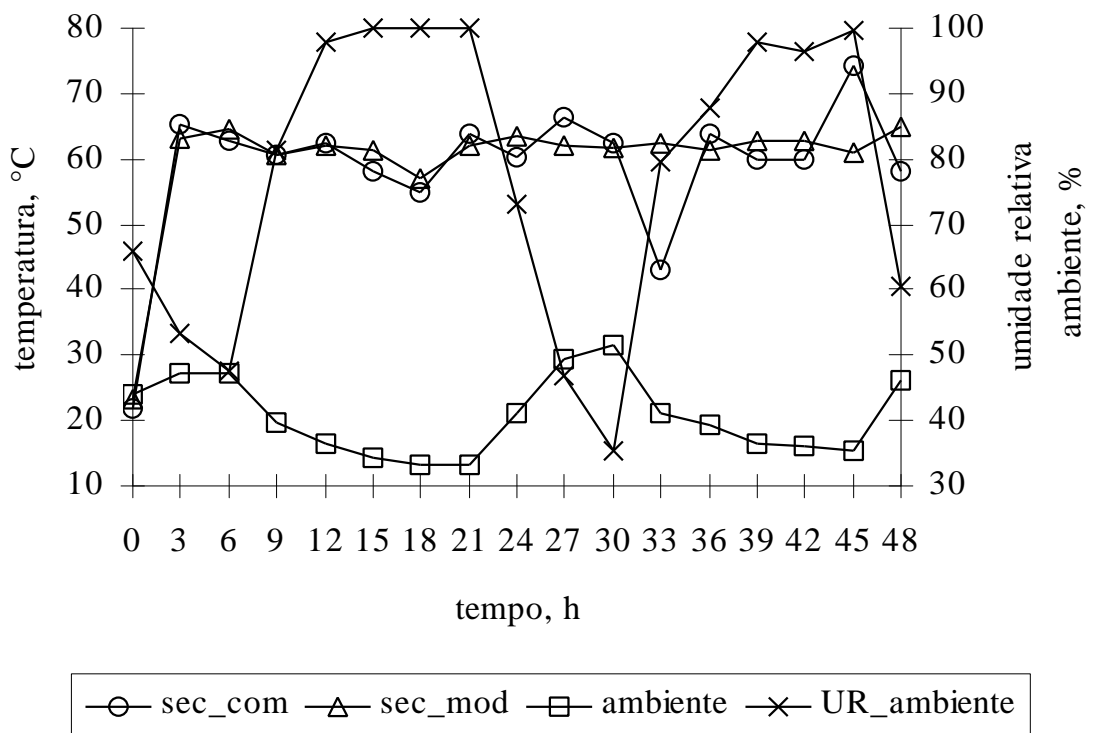


Figura 14 – Temperatura do ar ambiente, do ar de secagem nos dois secadores rotativos e umidade relativa em função do tempo de secagem, teste 2, tratamento 1.

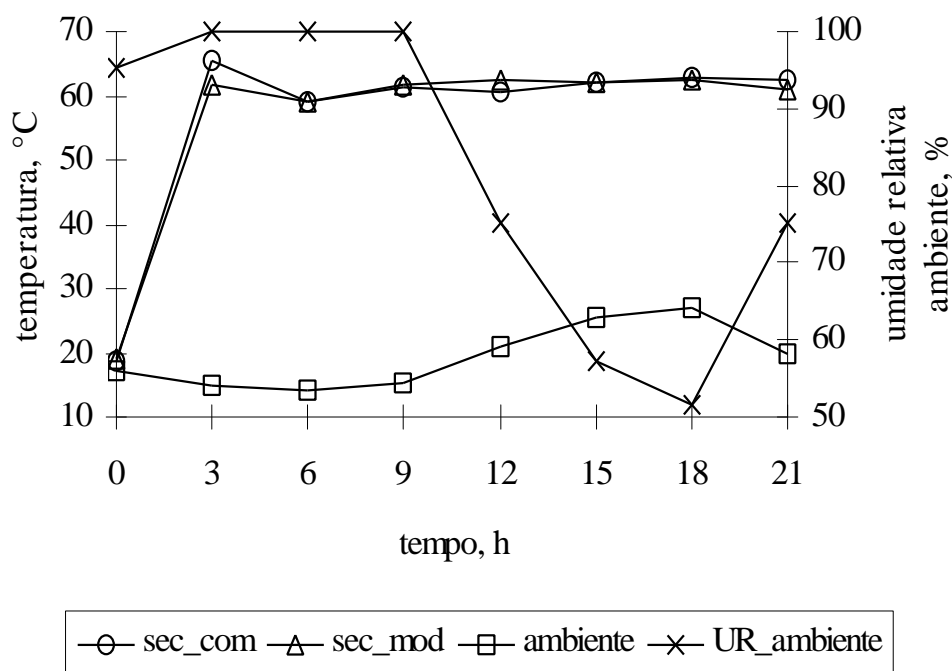


Figura 15 – Temperatura do ar ambiente, do ar de secagem nos dois secadores rotativos e umidade relativa em função do tempo de secagem, teste 2, tratamento 2.

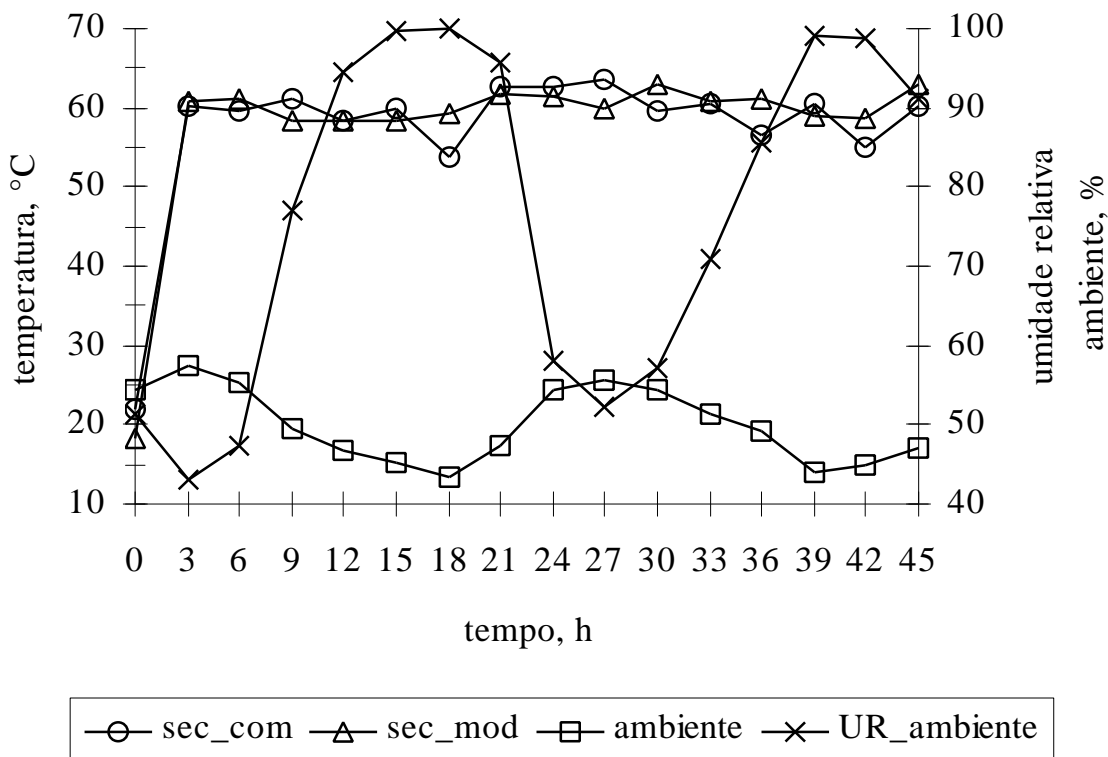


Figura 16 – Temperatura do ar ambiente, do ar de secagem nos dois secadores rotativos e umidade relativa em função do tempo de secagem, teste 3, tratamento 1.

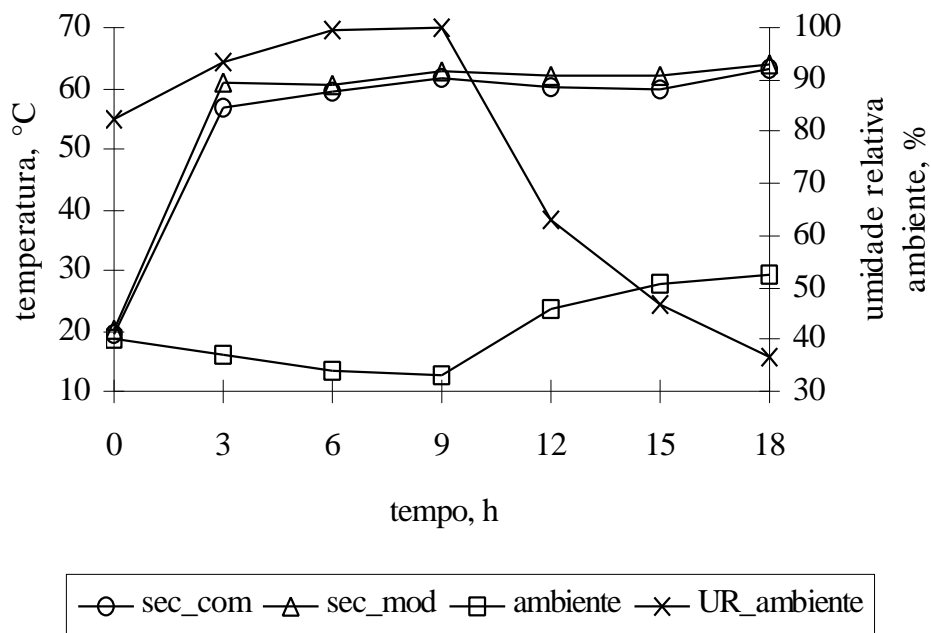


Figura 17–Temperatura do ar ambiente, do ar de secagem nos dois secadores rotativos e umidade relativa em função do tempo de secagem, teste 3, tratamento 2.

4.2 – Temperaturas na massa de grãos e do ar de exaustão

Nas figuras de 18 a 29 encontram-se representadas as temperaturas do ar de secagem, da massa de grãos e do ar de exaustão.

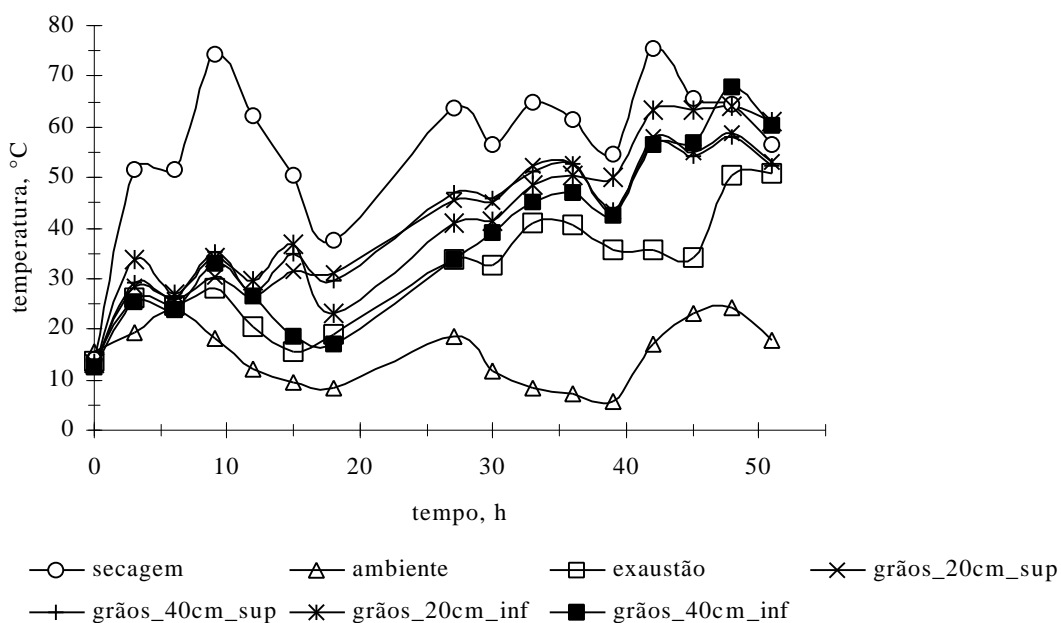


Figura 18 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo modificado, teste 1, tratamento 1.

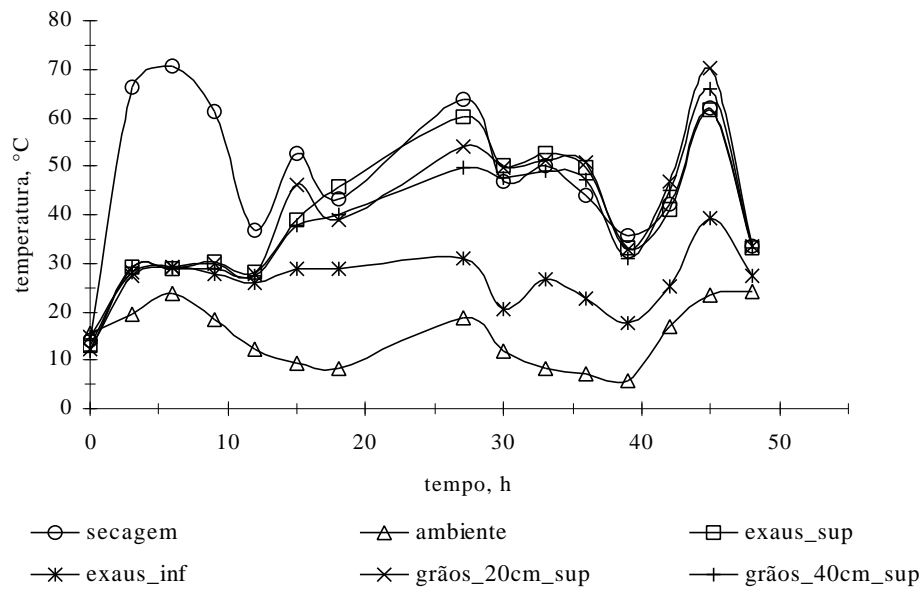


Figura 19 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo comercial, teste 1, tratamento 1.

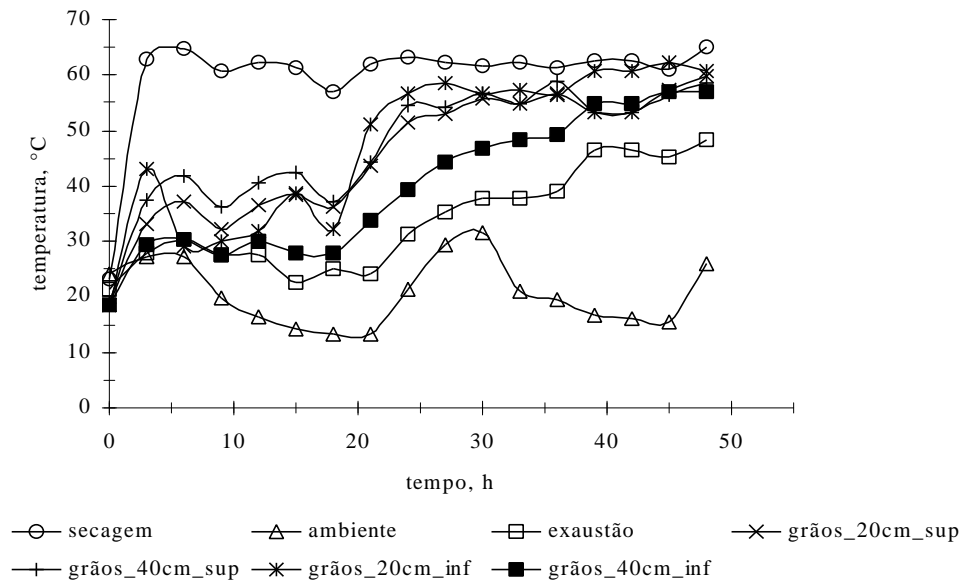


Figura 20 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo modificado, teste 2, tratamento 1.

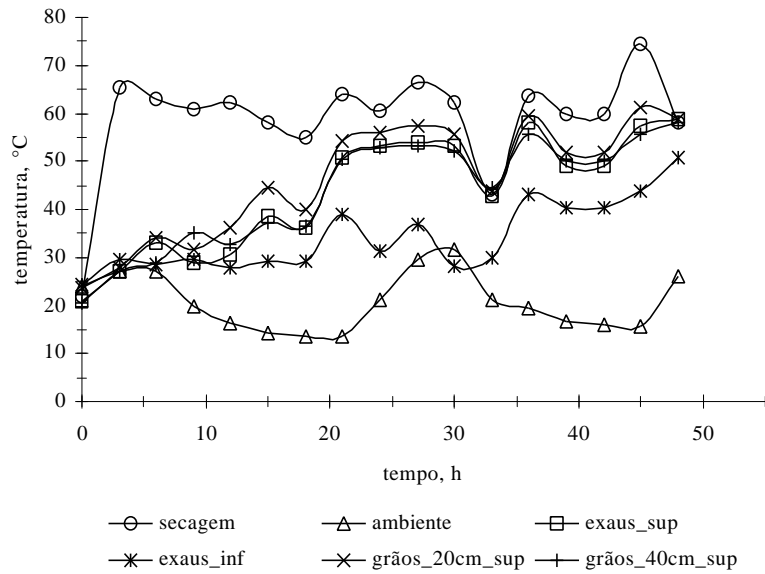


Figura 21 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo comercial, teste 2, tratamento 1.

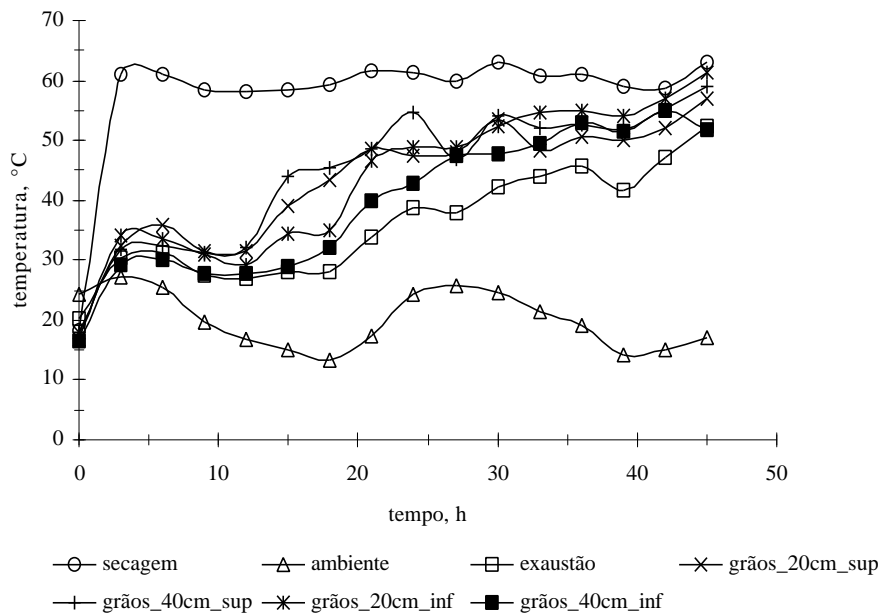


Figura 22 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo modificado, teste 3, tratamento 1.

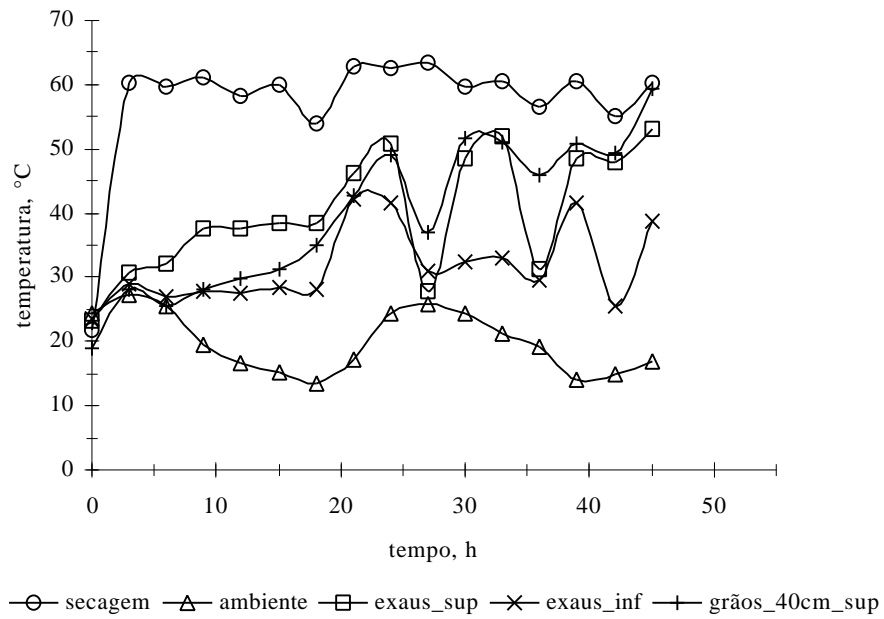


Figura 23 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo comercial, teste 3, tratamento 1.

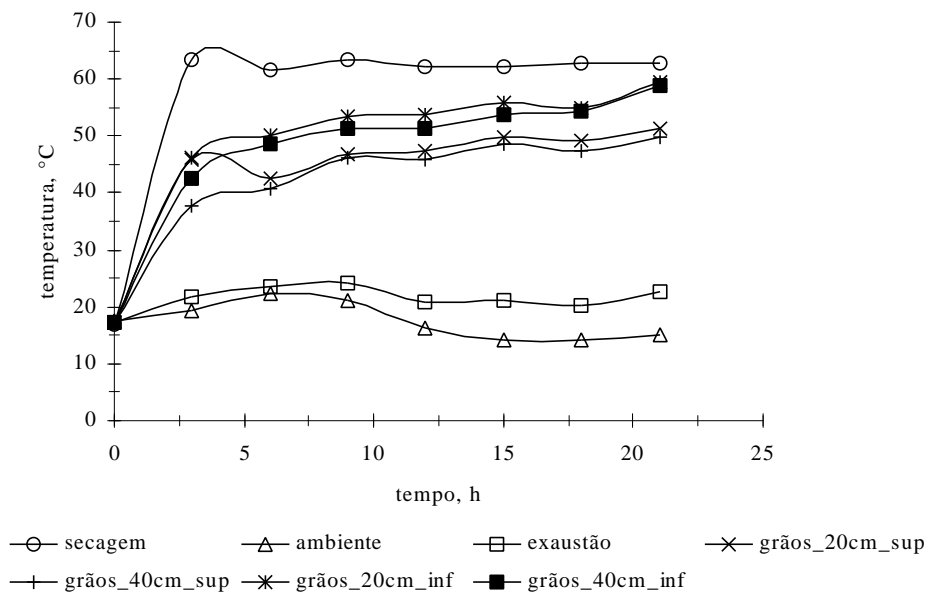


Figura 24 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo modificado, teste 1, tratamento 2.

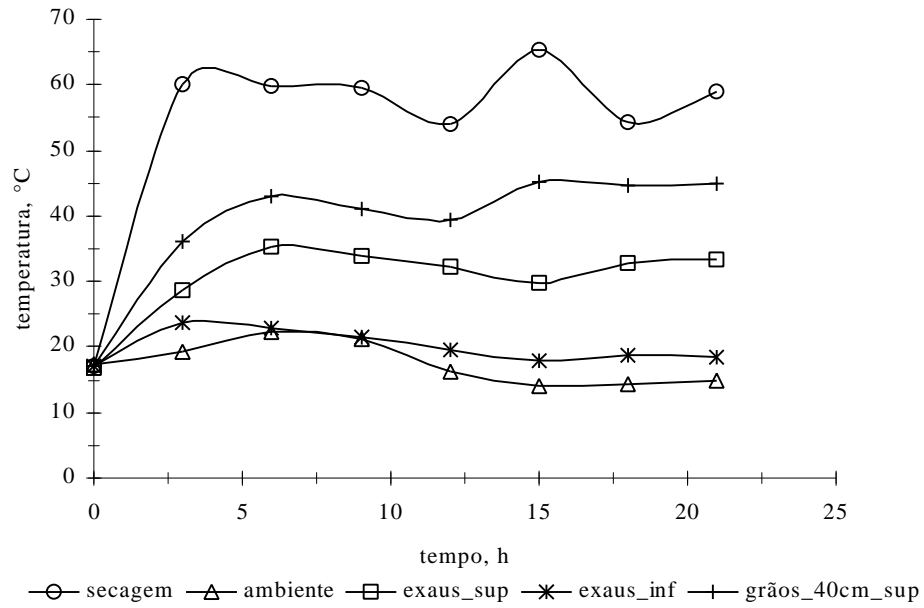


Figura 25 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo comercial, teste 1, tratamento 2.

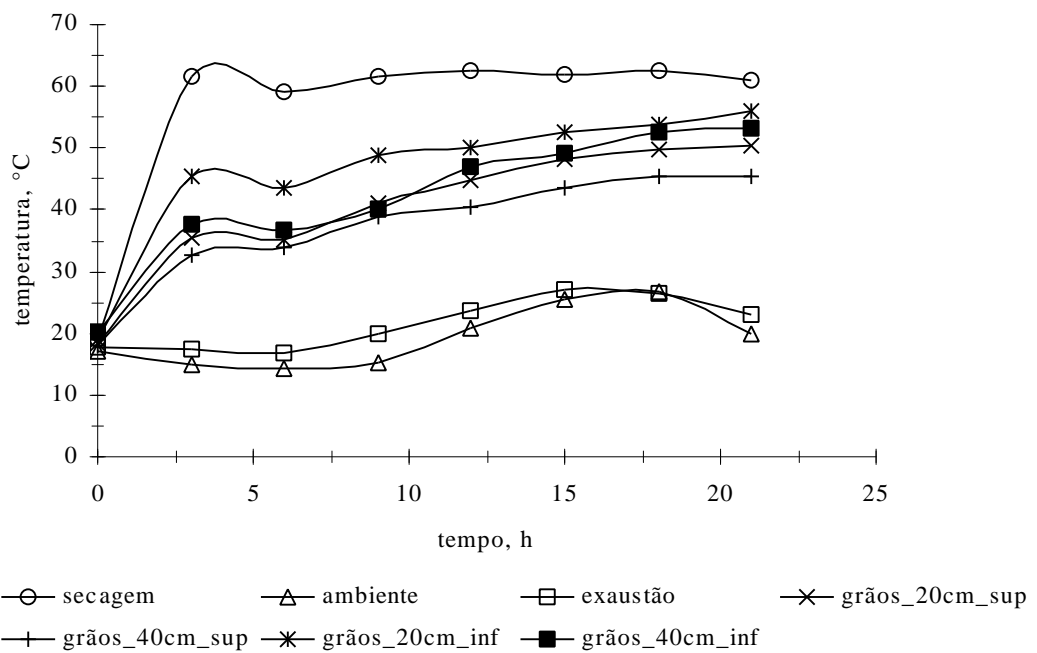


Figura 26– Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo modificado, teste 2, tratamento 2.

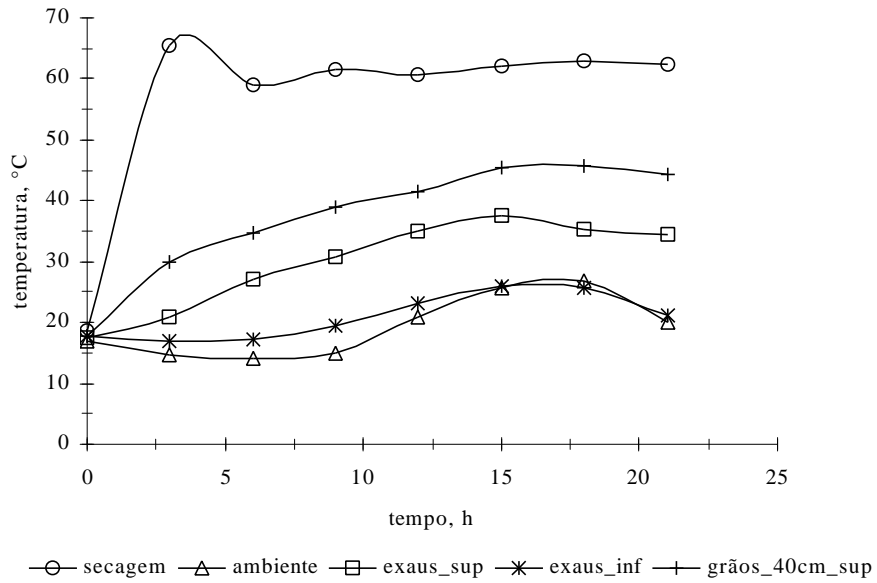


Figura 27 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo comercial, teste 2, tratamento 2.

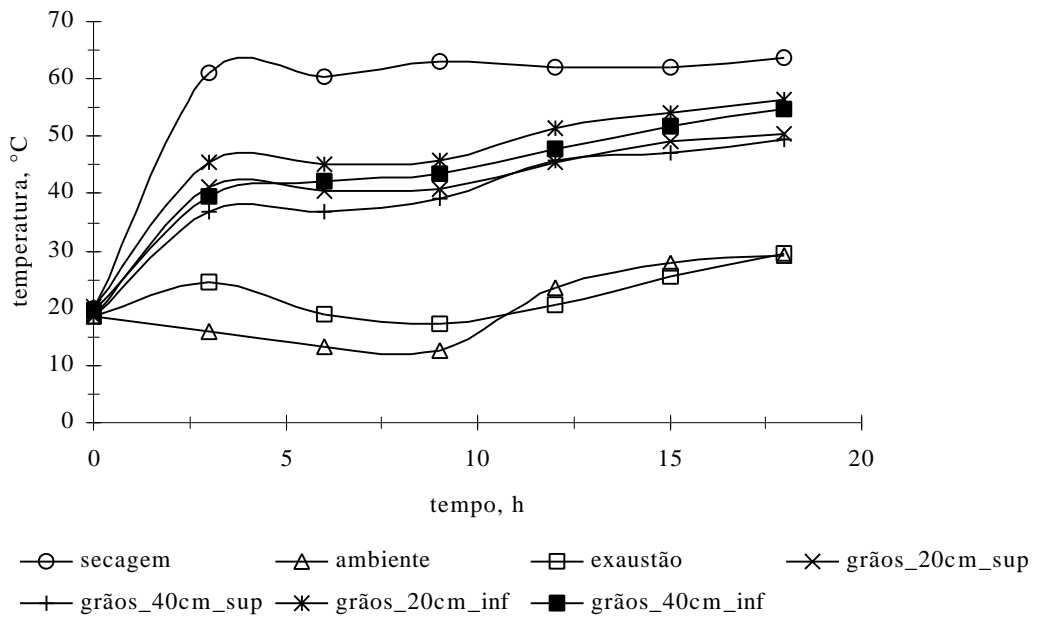


Figura 28 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo modificado, teste 3, tratamento 2.

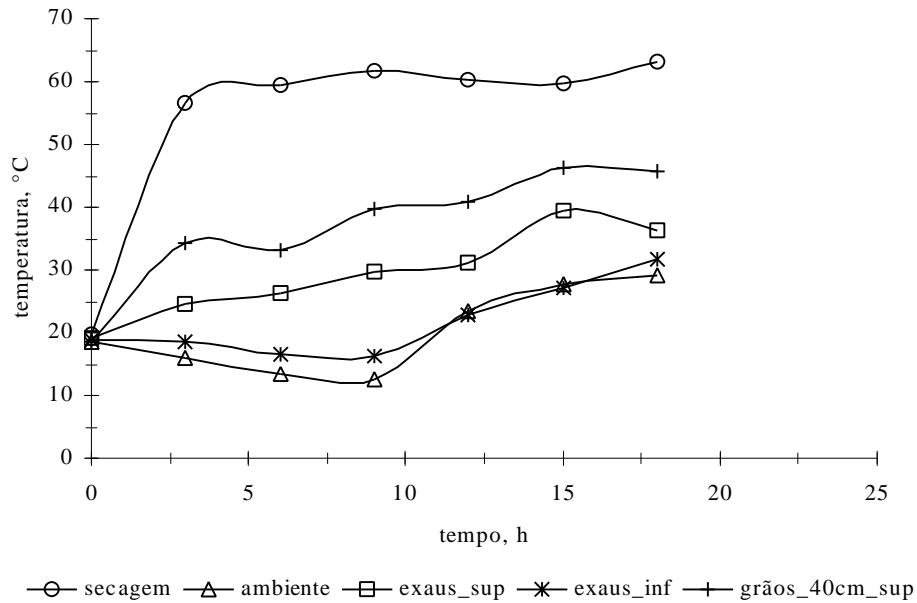


Figura 29 – Temperaturas do ar de secagem, dos grãos e do ar de exaustão em função do tempo de secagem, observadas no secador rotativo comercial, teste 3, tratamento 2.

A temperatura na massa de grãos apresentou valores médios de $42,4 \pm 2,1$; $46,5 \pm 3,7$ e $44,2 \pm 2,3$ °C, no secador rotativo modificado e $41,1 \pm 1,4$; $45,6 \pm 2,1$ e $41,0 \pm 10,9$ °C, no secador rotativo comercial, para os testes 1, 2 e 3, respectivamente, para o tratamento 1. No tratamento 2 os valores médios da temperatura da massa dos grãos foram $49,4 \pm 3,7$; $44,7 \pm 4,2$ e $45,5 \pm 3,1$ °C, no secador rotativo modificado e $42,0 \pm 3,4$; $40,1 \pm 6,0$ e $39,9 \pm 5,6$ °C, no secador rotativo comercial, para os testes 1, 2 e 3, respectivamente. As temperaturas da massa de grãos foram maiores no secador rotativo modificado, nos dois tratamentos, fato ocorrido devido a grande fuga de ar quente na parte superior do secador rotativo comercial. Isto, fez com que, o secador rotativo modificado apresentasse maior aproveitamento energético durante as secagens realizadas.

A temperatura do ar de exaustão apresentou valores finais médios de $32,5 \pm 10,5$; $34,6 \pm 8,7$ e $37,0 \pm 8,3$ °C, no secador rotativo modificado e $41,6 \pm 11,8$; $44,2 \pm 11,1$ e $41,4 \pm 8,6$ °C, na parte superior, $27,1 \pm 5,1$; $33,8 \pm 7,2$ e $32,2 \pm 5,9$ °C, na parte inferior, no secador rotativo comercial, para os testes 1, 2 e 3, respectivamente, para o tratamento 1. No tratamento 2, os valores finais médios da temperatura do ar de exaustão no secador rotativo modificado foram $22,1 \pm 1,46$; $22,1 \pm 4,1$ e $22,7 \pm 4,15$ °C, e no secador rotativo comercial foram, na parte superior, $32,2 \pm 2,4$; $31,6 \pm 5,8$ e na parte inferior $31,2 \pm 5,8$, $20,4 \pm 2,3$; $21,4 \pm 3,7$ e $22,2 \pm 6,2$ °C, para os testes 1, 2 e 3, respectivamente. Devido as modificações ocorridas no secador rotativo comercial, que o caracterizou como secador rotativo modificado, já explicadas anteriormente,

verifica-se que não existe a temperatura do ar de exaustão na parte superior do mesmo. Na parte inferior verificou-se que o secador rotativo modificado apresentou valores finais médios da temperatura do ar de exaustão superiores ao do secador rotativo comercial, no entanto esses valores não apresentaram grandes diferenças. Os valores mais elevados da temperatura do ar de exaustão observados na parte superior do secador comercial, ocorreram em função da redução da espessura da camada de grãos nesta região, causada pela redução no volume dos grãos durante a secagem. Esta redução na espessura da camada proporcionou menor possibilidades de transferência de energia e de massa entre o ar e os grãos, resultando em maior temperatura no ar de exaustão e, conseqüentemente, em menor eficiência energética de secagem, uma vez que o ar de exaustão apresentava baixo valor de umidade relativa e elevado potencial de secagem.

4.3 – Teor de água e massa específica aparente

Nas Figuras de 30, 31, 32, 33, 34 e 35 estão as curvas de secagem do café resultantes dos dois tratamentos e das testemunhas.

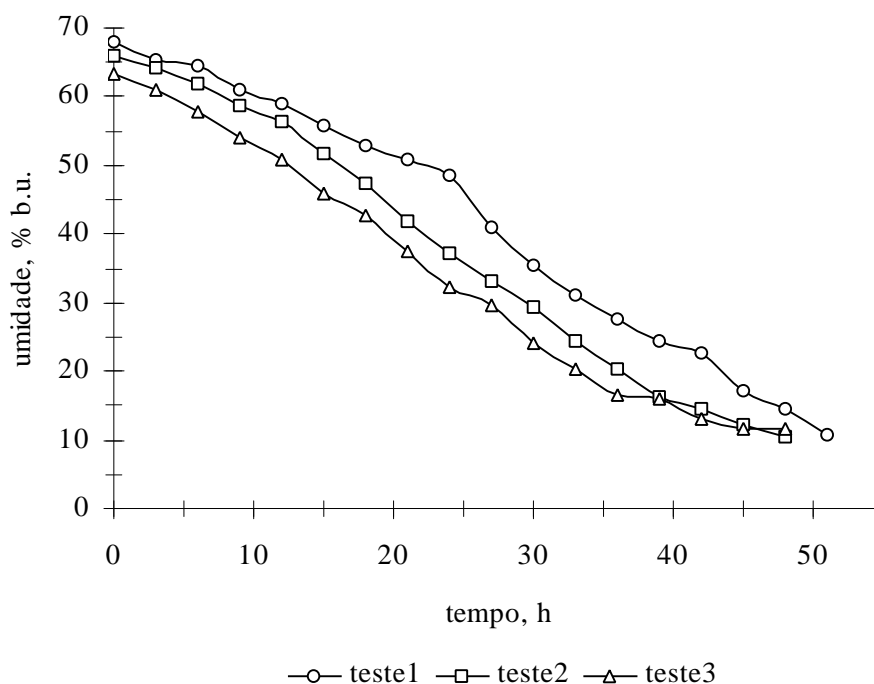


Figura 30 – Variação da umidade do café em função do tempo, durante a secagem, nos testes 1, 2 e 3 do tratamento 1, no secador rotativo modificado.

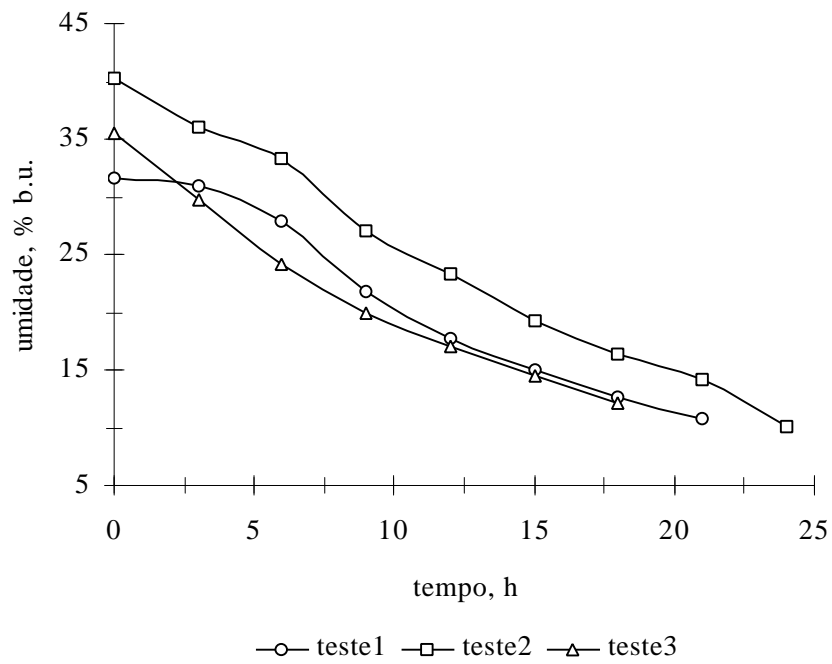


Figura 31 – Variação da umidade do café em função do tempo, durante a secagem, nos testes 1, 2 e 3 do tratamento 2, no secador rotativo modificado.

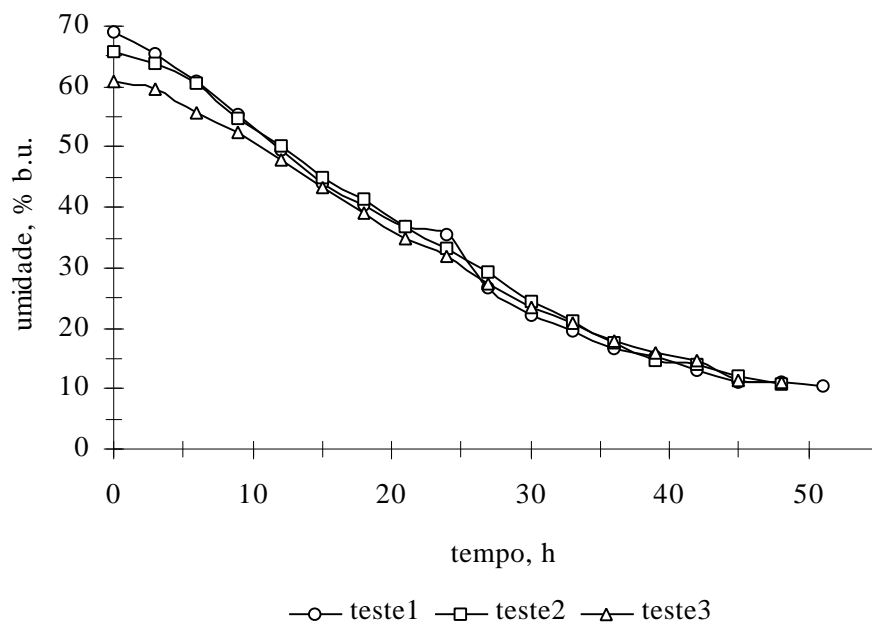


Figura 32 – Variação da umidade do café em função do tempo, durante a secagem, nos testes 1, 2 e 3 do tratamento 1, no secador rotativo comercial.

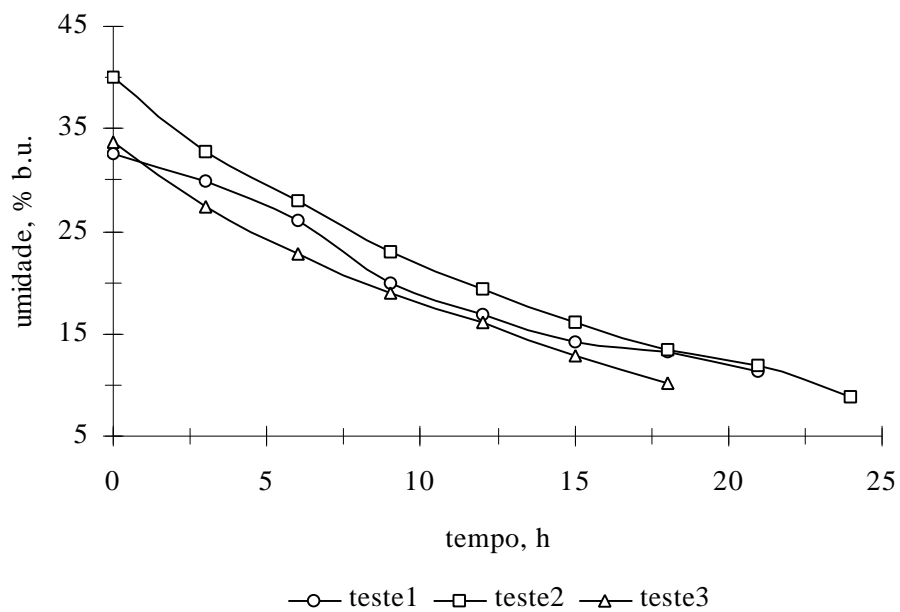


Figura 33 – Variação da umidade do café em função do tempo, durante a secagem, nos testes 1, 2 e 3 do tratamento 2, no secador rotativo comercial.

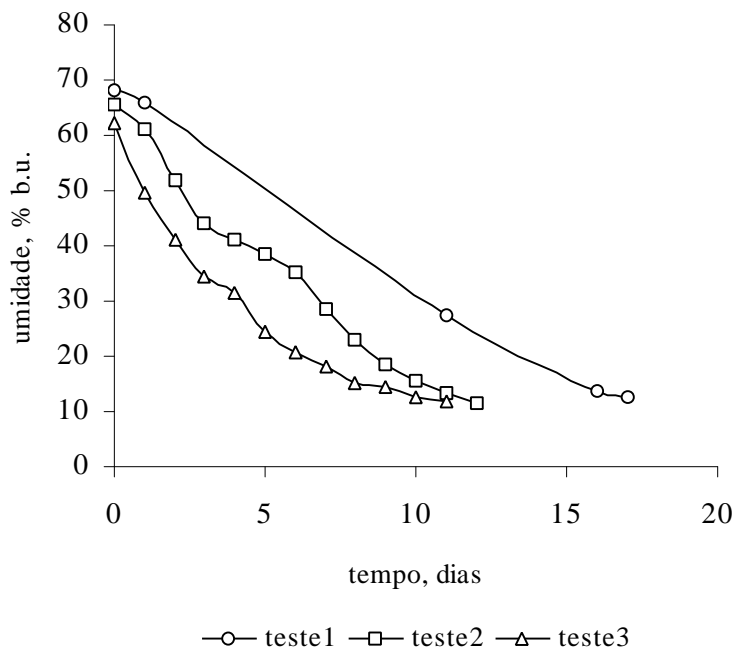


Figura 34 – Variação da umidade do café em função do tempo, durante a secagem das amostras testemunhas, nos testes 1, 2 e 3 do tratamento 1, no terreiro.

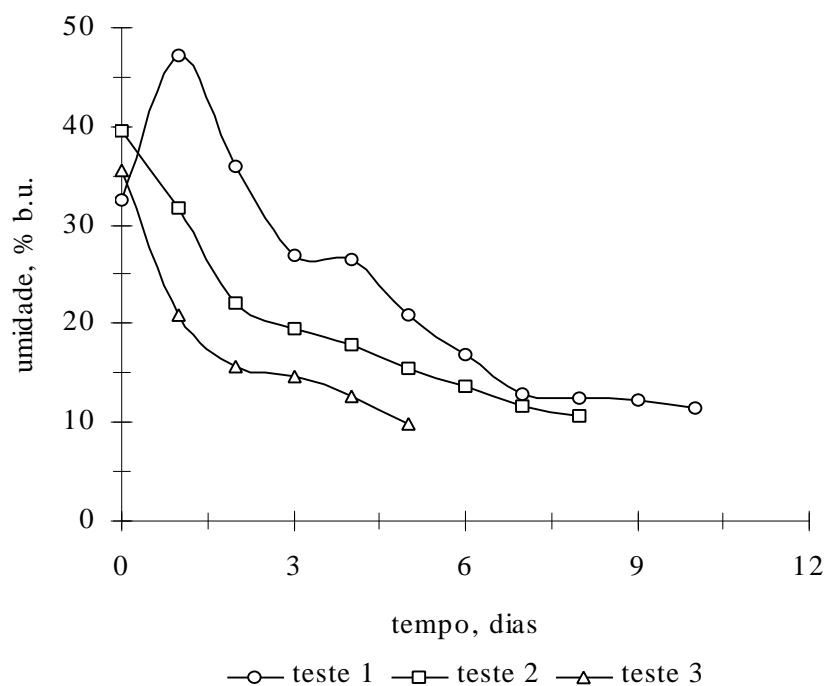


Figura 35 – Variação da umidade do café em função do tempo, durante a secagem das amostras testemunhas, nos testes 1, 2 e 3 do tratamento 2, no terreiro.

O teor de água inicial do produto variou para cada teste, sendo que no tratamento 1 o valor médio foi igual a $65,0 \pm 4,0$ % b.u. No tratamento 2 o valor médio foi igual a $36,0 \pm 4,3$ % b.u.

O teor de água final do produto também variou para cada teste, sendo que no tratamento 1 o valor médio foi igual a $11,0 \pm 0,5$ % b.u. No tratamento 2 o valor médio foi igual a $10,8 \pm 0,8$ % b.u.

O tempo de secagem do café, nos dois secadores rotativos, dentro de cada teste, não apresentaram grandes variações.

O tempo de secagem das amostras testemunhas variou de acordo com a temperatura e umidade do ar ambiente, o teor de água inicial apresentou valor médio igual a $65,1 \pm 3,0$ % b.u., no tratamento 1. No tratamento 2 o teor de água inicial apresentou valor médio igual a $36,1 \pm 3,5$ % b.u. No teste 1, tratamento 2, o café tomou chuva por isso seu teor de água aumentou na fase inicial da secagem.

O teor de água final do produto também variou para cada teste, nas amostras testemunhas, sendo que no tratamento 1 o valor médio foi igual a $12,0 \pm 0,6$ % b.u. No tratamento 2 o valor médio foi igual a $10,6 \pm 0,7$ % b.u.

Determinou-se, também, a variação da massa específica aparente do produto em função de seu teor de água (Figuras 36, 37, 38 e 39).

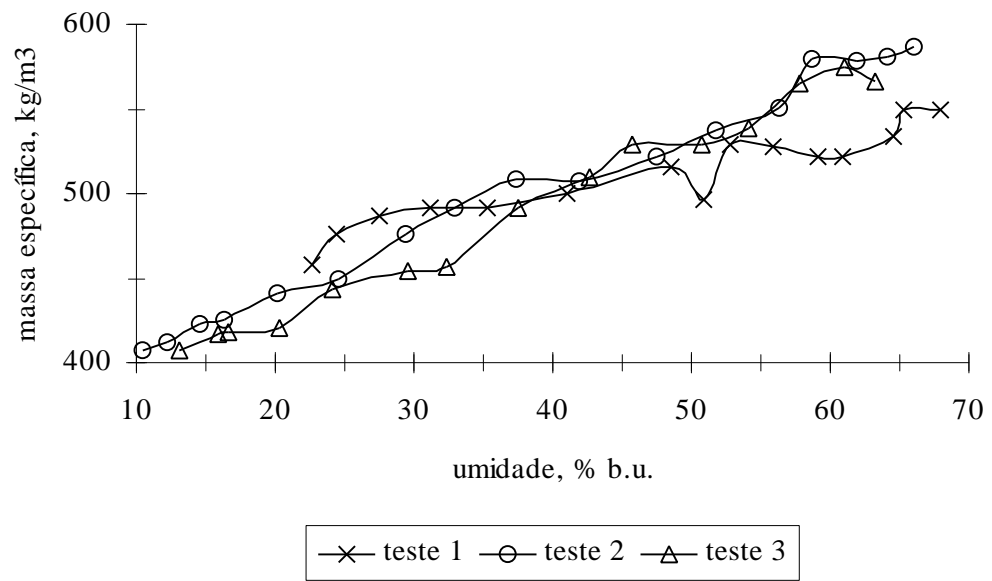


Figura 36 – Massa específica aparente do café em função do teor de água, durante a secagem no secador rotativo modificado, tratamento 1.

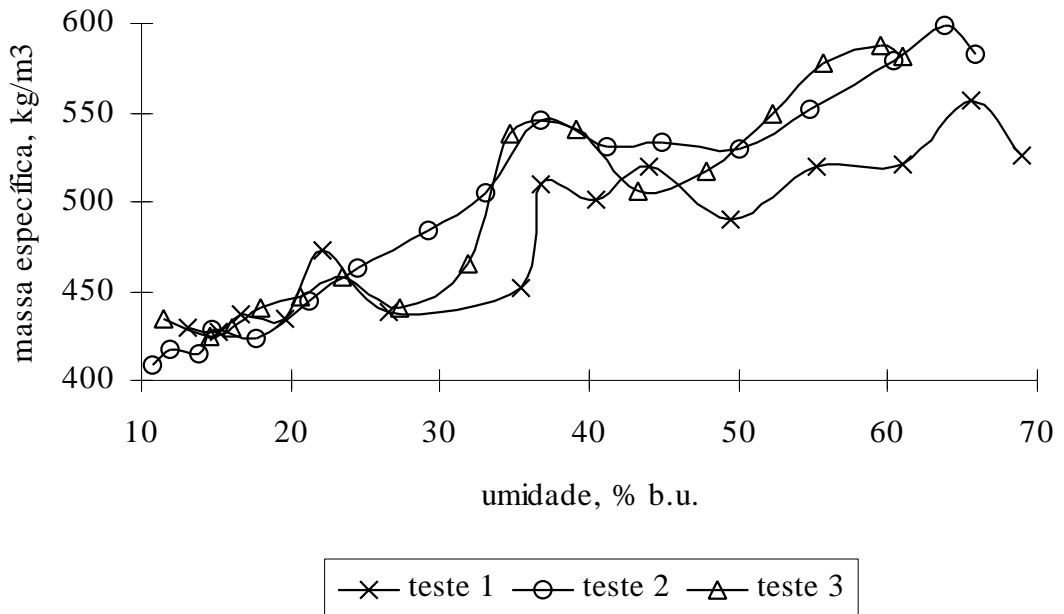


Figura 37 – Massa específica aparente do café em função do teor de água, durante a secagem no secador rotativo comercial, tratamento 1.

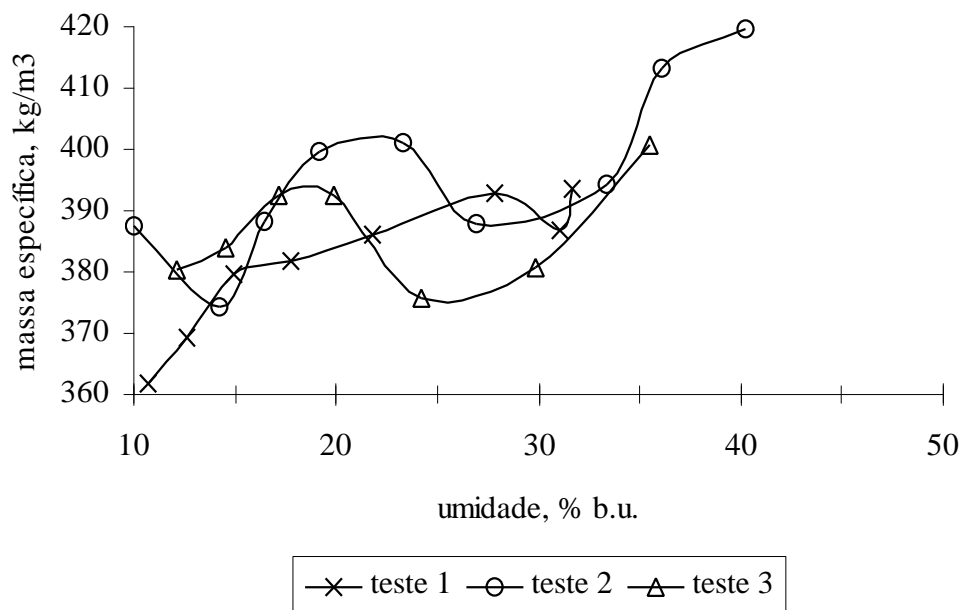


Figura 38 – Massa específica aparente do café em função do teor de água, durante a secagem no secador rotativo modificado, tratamento 2.

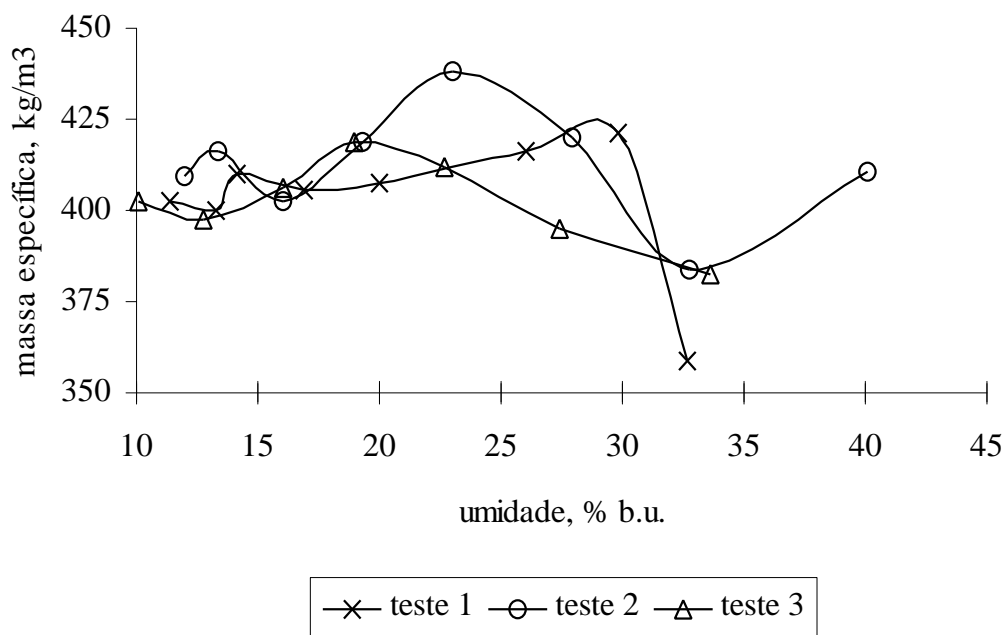


Figura 39 – Massa específica aparente do café em função do teor de água, durante a secagem no secador rotativo comercial, tratamento 2.

Verificou-se um decréscimo da massa específica aparente do café em função da redução de umidade. Esse decréscimo foi mais evidente no tratamento 1 (café cereja) que no tratamento 2 (café cereja meia-seca) provavelmente devido este apresentar produto com maior teor de água. Essas variações são associadas à propriedade que o café apresenta de reduzir de

volume durante a secagem, já que os espaços vazios, antes preenchidos com água, passam a ser preenchido com ar, fato ocorrido devido a água possuir maior massa específica que o ar, ocasionando desta maneira um produto final de menor massa específica que a inicial.

4.4 – Consumo de energia

As Tabelas 3 e 4 contêm os valores do teor de água, poder calorífico inferior, consumo horário de combustível e consumo específico de energia.

Tabela 3 – Poder calorífico inferior, teor de água, consumo de combustível e consumo específico de energia real (com e sem o uso de energia de elétrica), no tratamento 1

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial
Secador						
Tipo de combustível	sabugo	lenha	carvão	lenha	carvão	lenha
Consumo de combustível, kg.h ⁻¹	8,90	14,89	3,26	11,06	4,16	10,65
PCI, kJ.kg ⁻¹	14697,62	15032,67	27315,64	15032,67	27315,64	15032,67
Energia elétrica, kWh	46,89	64,16	44,13	63,54	42,75	61,56
Teor de água, % b.u.	11,54	11,83	4,53	11,83	4,53	11,83
Eficiência energética, kJ.kg ⁻¹ :						
com energia elétrica	10912,68	14805,27	7596,01	12491,20	8667,82	13990,62
sem energia elétrica	10643,38	14496,60	7323,80	12143,11	8422,50	13586,17

Tabela 4 – Poder calorífico inferior, teor de água, consumo de combustível e consumo específico de energia real (com e sem o uso de energia de elétrica), no tratamento 2

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial
Secador						
Tipo de combustível	carvão	lenha	carvão	lenha	carvão	Lenha
Consumo de combustível, kg.h ⁻¹	4,18	12,30	4,02	12,91	4,05	12,37
PCI, kJ.kg ⁻¹	27315,64	15032,67	27315,64	15032,67	27315,64	15032,67
Energia elétrica, kWh	47,63	46,34	54,43	50,75	40,82	39,72
Teor de água, % b.u.	4,53	11,83	4,53	11,83	4,53	11,83
Eficiência energética, kJ.kg ⁻¹ :						
com energia elétrica	15796,89	20938,73	9234,17	16158,78	10451,29	16794,19
sem energia elétrica	15351,89	20415,26	8963,99	15771,46	10147,71	16374,50

Durante a secagem, no secador rotativo modificado, observou-se que o mesmo requer menos energia para evaporar uma unidade de massa de água, ou seja, os secadores são mais eficientes, em termos de consumo específico de energia (kJ/kg de água evaporada), Figura 30. O consumo específico de energia foi menor no tratamento 1, nos dois secadores em

todos os testes, fato ocorrido devido a facilidade de perda de água do produto neste tratamento, pois o mesmo apresentava teor de água maior que no tratamento 2.

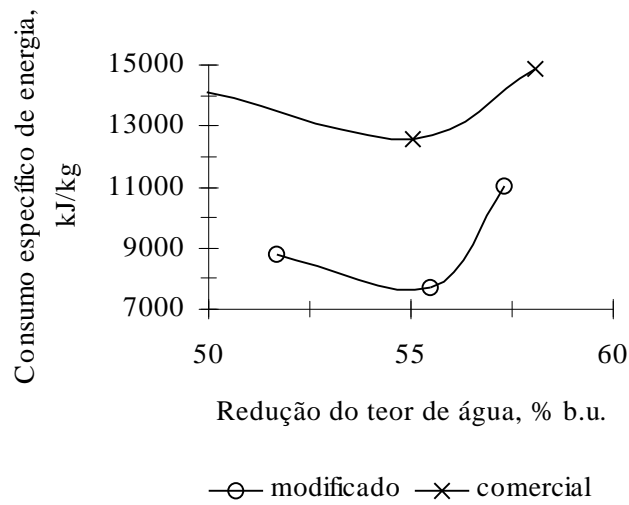


Figura 30 – Consumo específico de energia em função da redução do teor de água, tratamento 1.

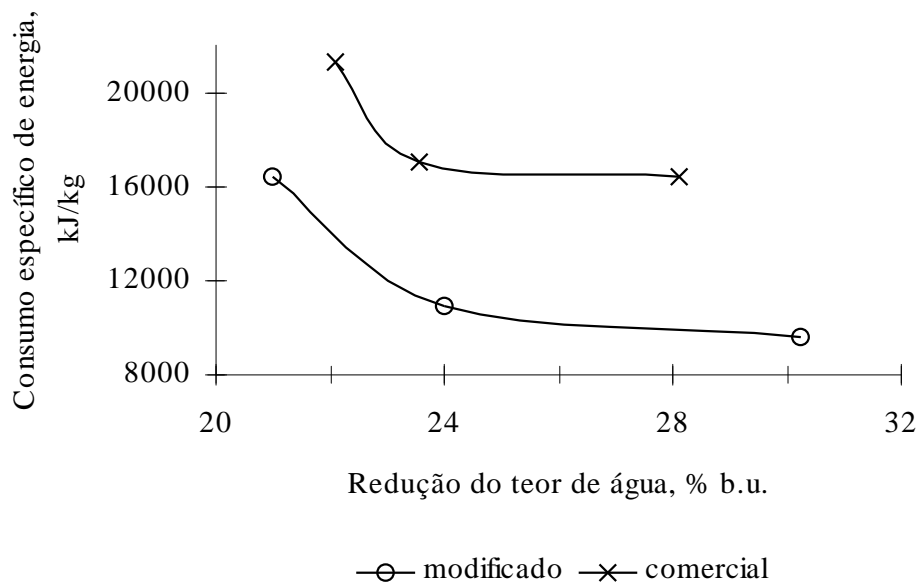


Figura 30 – Consumo específico de energia em função da redução do teor de água, tratamento 2.

O secador rotativo modificado utilizou uma fornalha a fogo direto para o aquecimento do ar de secagem, a qual apresenta maior eficiência termodinâmica em relação à de fogo indireto. No secador rotativo comercial foi utilizada uma fornalha a fogo indireto para

o aquecimento do ar. O desempenho do secador rotativo modificado foi superior àquele apresentado pelo secador rotativo comercial em todos os testes. O secador modificado apresentou um consumo específico de energia de 10.643,38; 7.323,80 e 8.422,50 kJ.kg⁻¹ de água evaporada para os testes 1, 2 e 3, respectivamente, e o secador rotativo comercial apresentou um consumo específico de energia de 14.496,60; 12.143,40 e 13.586,17 kJ.kg⁻¹ de água evaporada para os testes 1, 2 e 3, respectivamente, no tratamento 1, representando uma economia de energia de 26,58; 39,69 e 38,01 % para os testes 1, 2 e 3, respectivamente.

No tratamento 2 o secador modificado apresentou consumos específicos de energia de 15.351,89; 8.963,99 e 10.147,71 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, para os testes 1, 2 e 3, respectivamente. No secador comercial o consumo específico de energia foi 20.415,26; 15.771,46 e 16.374,50 kJ.kg⁻¹ de água evaporada para os testes 1, 2 e 3, respectivamente, representando uma economia de energia de 24,80; 43,16 e 38,03 % para os testes 1, 2 e 3, respectivamente.

4.4.1 – Consumo de energia elétrica

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados os valores do consumo de energia elétrica para a movimentação do ar e do produto e a economia de energia elétrica observada no secador rotativo modificado em relação ao secador rotativo comercial, nos tratamentos 1 e 2, respectivamente.

Tabela 5 - Consumo de energia elétrica (kWh) nos dois secadores rotativos e a economia que o modificado apresentou em relação ao comercial, no tratamento 1

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial
Consumo de energia elétrica., kWh						
Movimentar o ar	45,01	42,36	42,36	42,36	41,04	41,04
Movimentar grãos	1,88	21,18	1,77	21,18	1,71	20,52
Economia, %	35,51		43,98		44,00	

Tabela 6 - Consumo de energia elétrica (kWh) nos dois secadores rotativos e a economia que o modificado apresentou em relação ao comercial, no tratamento 2

Parâmetros	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial
Consumo de energia elétrica., kWh						
Movimentar o ar	18,53	18,53	21,18	20,30	15,89	15,89
Movimentar grãos	0,77	9,27	0,88	10,15	0,66	7,94
Economia, %	44,04		38,03		43,99	

Em decorrência das modificações ocorridas no secador rotativo, a movimentação dos grãos no secador rotativo modificado passou a ser realizada em intervalos regulares de 1 hora, promovendo no secador uma economia de energia elétrica, destinada a movimentação dos grãos igual a 91,13; 91,67 e 91,67 % nos testes 1, 2 e 3, respectivamente, no tratamento 1, e 91,65; 91,31 e 91,69 % nos testes 1, 2 e 3, respectivamente, no tratamento 2, em relação ao secador rotativo comercial, onde a movimentação dos grãos ocorreu, sem interrupção, do início ao final da secagem.

4.5 – Análise da qualidade do produto após a secagem

A origem, os procedimentos operacionais de secagem e o beneficiamento influenciam diretamente a qualidade do café.

Na Tabela 7, verifica-se que a qualidade final do produto não foi alterada, quer pela secagem no secador rotativo modificado, quer no secador rotativo comercial. Os resultados, dentro do mesmo tratamento, foram similares entre si e, também, similares à amostra testemunha. Em relação ao aspecto comercial, o produto apresentou boa classificação, visto que o tipo 6 é considerado como referência comercial do Brasil. Nas análises do produto, não foram detectados odores residuais, oriundos da presença de incombustos (materiais não queimados) ou fumaça no ar de secagem, o que indica que os sistemas de aquecimento estão adequados ao seu funcionamento.

Tabela 7 – Resultados da análise do tipo e da qualidade da bebida do café

Tratamento	Secagem nos secadores			Testemunha	
	Teste	Tipo	Bebida	Tipo	Bebida
Tratamento 1 (modificado) Queima de carvão vegetal em fornalha a fogo direto (exceto teste 1, queima de sabugo)	1	8	Duro	6-7	Apenas mole
	2	7-8	Duro	6-7	Duro
	3	7-8	Duro	5-6	Duro
Tratamento 1 (comercial) Queima de lenha em fornalha a fogo indireto	1	7-8	Duro	6-7	Apenas mole
	2	7-8	Duro	6-7	Duro
	3	6-7	Duro	5-6	Duro
Tratamento 2 (modificado) Queima de carvão vegetal em fornalha a fogo direto	1	6-7	Duro	4-5	Duro
	2	5-6	Duro	5-6	Duro
	3	5-6	Duro	5-6	Duro
Tratamento 2 (comercial) Queima de lenha em fornalha a fogo indireto	1	5-6	Duro	4-5	Duro
	2	5-6	Duro	5-6	Duro
	3	6-7	Duro	5-6	Duro

5 – RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido no período entre maio e setembro de 2001, na Área de Pré-processamento de Produtos Vegetais, do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Foi avaliado o consumo de energia de dois sistemas de secagem. Um composto por um secador rotativo comercial alimentado por uma fornalha a fogo indireto utilizando, como combustível, lenha de eucalipto. O outro foi composto por um secador rotativo modificado alimentado por uma fornalha a fogo direto utilizando como combustível, carvão vegetal, exceto no teste 1 do tratamento 1, que utilizou como combustível sabugo de milho.

Para a avaliação do sistema de secagem foram realizados dois tratamentos, com três testes cada um. A temperatura do ar de secagem foi controlada de forma a manter um valor próximo de 60°C. A tomada de dados foi realizada conforme a seguir:

Tratamento 1 – secou-se o café cereja lavado, nos dois secadores, comercial e modificado, cuja umidade inicial variou entre 60 e 70 % bu, até que a umidade final atingisse um valor entre 11 e 12 % bu.

Tratamento 2 – o café cereja lavado, após ser submetido a uma pré-secagem em terreiro, até que a umidade atingisse entre 30 e 40 % bu, foi submetido à secagem nos secadores comercial e modificado, até que a umidade final atingisse um valor entre 11 e 12 % bu.

O teor de água, a massa específica aparente do produto, a temperatura da massa de grãos, a temperatura do ar de exaustão e a temperatura do ar de secagem foram monitoradas em intervalos regulares de 3 horas em cada teste.

Considerando as condições em que foi realizado o experimento, pode-se concluir que:

1 – o secador rotativo modificado apresentou menor consumo específico de energia em todos os testes, quando comparado ao comercial, apresentando uma economia de energia específica de $33,1 \pm 6,5$ % no tratamento 1 e $34,0 \pm 9,2$ % no tratamento 2.

2 – o tempo de secagem não foi alterado em função da modificação na distribuição do ar e na movimentação dos grãos.

3 – o consumo de energia elétrica foi reduzido em $40,0 \pm 4,2$ % no tratamento 1 e $41,0 \pm 3,0$ % no tratamento 2, no sistema modificado quando comparado ao sistema comercial.

4 – o consumo de energia elétrica para a movimentação dos grãos, foi reduzido em aproximadamente 91 % no sistema modificado quando comparado ao sistema comercial.

5 – o emprego de fornalha a fogo direto, com a queima de carvão, não influenciou a qualidade do produto em relação á testemunha, o mesmo comportamento também foi verificado quando se utilizou o sabugo de milho como combustível.

6 – o consumo de combustível no secador rotativo comercial foi maior que no modificado, devido o aquecimento indireto do ar.

7 - a maior temperatura do ar de exaustão, para iguais condições de secagem, sugere menor eficiência, relativa ao aproveitamento do ar de secagem, no secador rotativo comercial.

8 – no secador comercial ocorreu a obstrução dos furos da chapa difusora do duto de distribuição do ar quando utilizou-se o café cereja lavado.

9 – a qualidade final do produto foi a mesma nos dois secadores utilizados.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ ABIC. Brasil consolida liderança mundial. **Jornal do café**, São Paulo, ano XI, n.127, p.14, 2002.
- BAKKER – ARKEMA, F. W.; LEREW, L. E.; BROOK, R. C.; BROOKER, D. B. **Energy and capacity performance evaluation of grain dryers**. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 13p. (Paper 78:3523).
- BÁRTHOLO, G.F., GUIMARÃES, P.T.G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.33-42, 1997.
- BÁRTHOLO, G. F.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: EPAMIG, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.
- BRASIL, **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura e Abastecimento, MAA: Brasília, 1992. 365p.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, **Balanco Energético Nacional**, Brasília, 2000 154 p.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 1992. 450 p.
- BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL,C.W. **Drying cereal grains**. Westport: AVI Publishing, 1974. 265p.
- CARDOSO SOBRINHO, J. **Simulação e avaliação de sistemas de secagem de café**. Viçosa: UFV, 2001. 120p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001

- CASTRO, L. E. **Efeito do despulpamento, em secador de leito fixo sob alta temperatura, no consumo de energia e na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. Viçosa: UFV, 1991. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. D. **Colheita e preparo do café**. Lavras, UFLA/FAEPE, 1997. 49p.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de café em 2002/2003 pode superar 39 milhões de sacas**. <http://extranet.agricultura.gov.br>. 05 de Fevereiro de 2002
- CORDEIRO, J.A.B. **Influência da temperatura e do tempo de repouso na secagem de café (*Coffea arábica* L.) em camadas fixas**. Viçosa: UFV, 1982, 60p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- COSTA, E. C. **Compressores**. São Paulo – SP: Ed. Edgard Blucher, 172 p.1978.
- De GRANDI, A. M. **Avaliação da eficiência de secagem de café (*coffea arabica* l.), em secador de camada fixa vertical com revolvimento mecânico**. Viçosa: UFV, 1999, 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- FREIRE, A. T. **Projeto e avaliação de um sistema de secagem combinado de café (*Coffea arabica* L.) despulpado**. Viçosa – MG: UFV, 1998. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FREITAS, 1997. **A biomassa no Brasil**. São Paulo: CENBIO, 2000 [citado em 30 mar 2000]. <http://www.ambiental.com.br/Cenbio/biomassa/biomassa.htm>>.
- GIRANDA, R.N. **Aspectos qualitativos de cafés submetidos a diferentes processos de secagem**. Lavras : UFLA, 1998. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, 1998.
- GOMES, R.A.R. **Avaliação do desempenho de uma fornalha de fluxo descendente e com sistema de aquecimento direto**. Viçosa: UFV, 1988. 55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- LACERDA FILHO, A.F de. **Avaliação de uma unidade de beneficiamento de sementes de milho (*Zea Mays*, L.)**. Botucatu: UNESP, 1998. 198p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, 1998.
- LACERDA FILHO, A. F. de. **Avaliação de diferentes sistemas de secagem e suas influências na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)** Viçosa: UFV, 1986. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- MATHIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo, Globo, 1991. 320p.
- MELO, E.C. **Rendimento térmico de uma fornalha a lenha de fluxos descendentes**. Viçosa: UFV, 1987. 45p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1987.

- MENDES, A. N. G.; ABRAHÃO, E. J.; CAMBRAIA, J. F.; GUIMARÃES, J. R. **Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas.** Lavras, UFLA, 76p. 1995.
- OLIVEIRA, G.A. de. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha com aquecimento indireto e autocontrole da temperatura máxima do ar para secagem de produtos agrícolas.** Viçosa: UFV, 1996. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1996
- OSÓRIO, A. G. S. **Projeto e construção de um secador intermitente de fluxos concorrentes e sua avaliação na secagem de café.** Viçosa: UFV, 1982. 57p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- OSÓRIO, A.G.S, SILVA, J.S., DALPASQUALE, V.A., OLIVEIRA, J.L. Secagem de café em secadores de fluxos concorrentes. **Informe Agropecuário**, v.9, n.99,p.18-24, 1983.
- PINTO, F. A. C. **Projeto de um secador de fluxos contracorrentes-concorrentes e análise de seu desempenho na secagem de café (*Coffea arábica* L.).** Viçosa: UFV, 1993. 72p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1993
- RIGUETTI, E., QUEIROZ, D. M. **Determinação da taxa de combustão e eficiência térmica de uma fornalha a lenha.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991. Anais...: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991. p.229-48.
- ROA, G. **Secagem e armazenagem dos principais alimentos brasileiros usando ar natural, coletores solares, sistemas armazenadores de energia solar e gasosênios.** Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1979. 75p
- SABIONI, P.M. **Projeto e avaliação de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar, na secagem de milho.** Viçosa, 1986. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- SABIONI, P. M.; FARIA, M. N.; HARA, T. **Determinador de umidade de grãos experimental** – EDABO In. 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 1984. Anais..., p. 62, 1984
- SAGLIETTI, J.R.C. **Rendimento térmico de fornalha a lenha de fluxos cruzados.** Botucatu:, UNESP, 1991. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, 1991.
- SILVA, I.D. **Projeto, construção e teste de uma fornalha a carvão vegetal para secagem de café.** Viçosa: UFV, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- SILVA, J.S., AFONSO, A.D.L., GUIMARÃES, A.G. Estudos dos métodos de secagem. In: SILVA, J.S., **Pré-processamento de produtos agrícolas**, Juiz de fora - MG, Instituto Maria, p.105 - 143, 1995.

- SILVA, J.S., BERBERT, P. A. **Colheita, Secagem e Armazenagem de Café**. Viçosa: Ed. Aprenda fácil, 1999. 146 p.
- SILVA, J.S., HARA, T., LACERDA FILHO, A .F., MELO, E. C., CORRÊA, P. C., DONZELES, S. Alternativas tecnológicas para secagem e armazenagem de grãos, In: **II Simpósio da Pesquisa na UFV**. 27 agosto / 02 setembro. 1990.
- SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F. Construção de um secador para produtos agrícolas. Viçosa, Imprensa Universitária, 1984, 17p. (**Informe Técnico 41**)
- SILVA, J.S.; PRECCI, R.L.; MACHADO, M.C. Fornalha a carvão para secagem de produtos agrícolas. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais / UFV. DEA 2000 25p.: il (**Engenharia na Agricultura. Boletim Técnico; 2**)
- SILVA, J.S.; Protótipo de um secador rotativo modificado. Projeto de pesquisa em andamento. **Comunicação pessoal** .(2001)
- SILVA, L.C. **Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (*Coffea arabica* L.) intermitente de fluxos contracorrente**. Viçosa: UFV, 1991, 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- SILVA, S.O. **Preço de lenha para produtores de cal em três micro regiões homogêneas do estado de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1986, 58p. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1986.
- TEIXEIRA, A. A.; NOGUEIRA, V. S.; ARRUDA, H. V., **Estudo dos diversos equipamentos para a secagem mecânica do café**. Resultado de pesquisa cafeeira ano 1971/82. Rio de Janeiro: IBC, 1983. 421p.
- THOMAZIELLO, R. A., OLIVEIRA, E. G. de.; TOLEDO FILHO, J. A. de. **Cultura do café**. Campinas, Fundação Cargill, 1996. 69p.
- THOMPSON, T. L.; FOSTER, G. H.; PEART, R. M. **Mathematical simulation of corn drying – a new model**. Transaction of the ASAE, st. Joseph, Michigan, 11 (4): 582-586, 1968.
- VALARELLI, I.D. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha a resíduos agrícolas, de fogo indireto para secadores de produtos agrícolas**. Botucatu: UNESP, 1991. 123p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, 1991.
- VILELA, E. R. **Secagem de café com energia solar em terreiro e silo**. Campinas: UNICAMP, 1977. 107p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade de Campinas, 1977.

Quadro 1A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo modificado, teste 1 tratamento 1

tempo, h	-		superior			inferior	
	ponto A	ar de secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	grãos_20cm inferior	grãos_40cm inferior	exaustão
0	14,50	14,10	13,05	12,95	13,20	12,70	13,65
3	58,00	51,40	28,30	29,20	33,70	25,45	26,10
6	64,00	51,43	25,70	26,10	27,03	23,80	24,55
9	74,80	74,27	30,50	35,15	34,20	32,90	27,90
12	50,00	62,33	26,70	27,35	29,60	26,70	20,60
15	50,10	50,37	31,55	35,00	36,77	18,40	15,55
18	41,70	37,37	31,15	29,45	23,13	17,05	18,85
27	61,70	63,60	45,50	47,00	41,13	33,70	33,70
30	59,70	56,67	45,15	45,95	41,23	39,05	32,60
33	60,70	64,93	52,20	51,20	48,50	45,15	40,85
36	62,80	61,27	52,85	52,85	50,50	46,95	40,65
39	62,50	54,57	43,40	43,65	49,97	42,65	35,55
42	80,00	75,37	57,90	57,05	63,27	56,60	35,50
45	55,00	65,70	55,01	54,15	63,20	57,05	34,00
48	60,60	64,57	58,85	57,95	64,20	67,90	50,40
51	61,00	56,33	52,90	52,40	61,13	60,30	50,75

Quadro 2A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo comercial, teste 1 tratamento 1

Tempo, h	-		superior			inferior
	ponto A	ar de secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	exaustão superior	exaustão inferior
0,00	14,50	14,20	12,37	11,80	12,90	14,80
3,00	58,00	66,25	27,57	29,17	29,30	28,25
6,00	64,00	70,65	29,20	28,80	28,87	29,25
9,00	74,80	61,25	29,90	29,00	30,17	27,70
12,00	50,00	36,80	27,63	27,43	28,03	25,85
15,00	50,10	52,70	45,97	37,80	39,00	28,70
18,00	41,70	43,20	39,07	40,03	45,70	28,85
27,00	58,30	63,75	53,90	49,83	60,03	31,15
30,00	57,40	46,95	49,85	47,70	50,07	20,50
33,00	59,10	50,05	51,00	49,10	52,47	26,55
36,00	62,80	43,80	50,90	47,20	49,87	22,85
39,00	62,50	35,75	32,90	30,93	33,10	17,70
42,00	60,00		46,75	45,00	41,20	25,35
45,00	52,80		70,20	66,03	61,65	39,30

Quadro 3A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo modificado, teste 2 tratamento 1

tempo, h	-		superior		inferior		
	ponto A	secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	grãos_20cm inferior	grãos_40cm inferior	exaustão
0,00	18,70	23,23	18,47	18,75	18,60	18,60	21,25
3,00	61,80	63,00	33,10	37,35	42,97	29,30	27,80
6,00	62,10	64,70	37,03	41,80	29,20	30,20	30,25
9,00	60,00	60,65	32,37	36,35	30,10	27,60	27,55
12,00	62,20	62,20	36,43	40,45	32,03	29,90	27,60
15,00	60,20	61,47	38,47	42,45	38,80	27,90	22,65
18,00	60,10	56,90	36,10	37,10	32,13	27,90	24,95
21,00	60,30	62,03	43,63	44,20	51,13	33,70	24,30
24,00	62,50	63,33	51,53	54,45	56,83	39,30	31,35
27,00	59,70	62,17	53,07	54,25	58,43	44,20	35,45
30,00	61,00	61,73	55,80	56,80	56,73	46,90	37,75
33,00	61,40	62,35	54,83	54,90	57,37	48,40	37,75
36,00	60,30	61,20	56,80	58,95	56,43	49,30	39,10
39,00	60,10	62,70	53,17	53,35	60,63	54,90	46,40
42,00	62,50	62,70	53,17	53,35	60,63	54,90	46,40
45,00	59,80	61,00	57,30	56,30	62,17	56,90	45,35
48,00	62,10	64,95	59,73	58,65	60,63	57,10	48,45

Quadro 4A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo comercial, teste 2 tratamento 1

tempo, h	-		superior			inferior
	ponto A	secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	exaustão superior	exaustão inferior
0,00	22,90	22,00	23,75	20,40	21,00	24,50
3,00	57,40	65,35	27,75	27,17	27,25	29,43
6,00	59,60	62,80	34,25	28,73	33,15	28,47
9,00	58,90	60,75	31,65	35,03	28,95	29,53
12,00	62,40	62,40	36,20	32,63	30,75	27,97
15,00	60,10	58,05	44,35	37,30	38,60	29,27
18,00	59,70	54,80	40,05	36,53	36,30	29,20
21,00	63,90	63,95	54,40	50,47	50,90	38,83
24,00	60,40	60,35	56,00	52,70	53,25	31,27
27,00	66,60	66,30	57,45	53,20	53,95	36,77
30,00	63,60	62,25	55,55	52,20	53,05	28,33
33,00	58,50	43,15	44,00	44,40	42,75	29,93
36,00	62,30	63,75	59,35	55,70	58,00	43,30
39,00	61,10	59,75	51,70	50,03	49,05	40,47
42,00	61,20	59,75	51,70	50,03	49,05	40,47
45,00	63,20	74,35	61,05	55,77	57,55	43,87
48,00	59,00	58,10	58,65	58,13	58,75	50,83

Quadro 5A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo modificado, teste 3 tratamento 1

tempo, h	-		superior		inferior		
	ponto A	ar de secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	grãos_20cm inferior	grãos_40cm inferior	exaustão
0,00	20,10	18,23	17,90	17,80	16,77	16,50	20,25
3,00	61,30	60,97	32,27	31,75	34,10	29,20	30,33
6,00	61,00	61,00	35,77	32,45	33,50	30,10	31,30
9,00	58,60	58,30	31,60	31,20	30,97	27,90	27,47
12,00	58,70	58,23	31,43	32,10	29,20	27,80	26,87
15,00	59,20	58,33	39,10	43,90	34,33	28,80	27,93
18,00	59,40	59,20	43,40	45,30	34,87	32,20	28,20
21,00	61,90	61,60	48,65	48,60	46,67	40,00	33,97
24,00	61,30	61,37	47,40	54,75	48,85	42,80	38,70
27,00	63,50	59,87	48,00	46,95	49,00	47,50	37,85
30,00	59,70	62,93	53,40	54,20	52,47	47,60	42,30
33,00	59,90	60,80	48,35	51,95	54,73	49,40	44,10
36,00	59,90	61,17	50,65	52,70	55,10	52,90	45,67
39,00	58,70	59,03	50,00	51,90	54,00	51,50	41,57
42,00	59,10	58,63	52,10	55,35	56,93	54,90	47,07
45,00	63,20	63,10	57,10	58,95	61,23	51,90	52,33

Quadro 6A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo comercial, teste 3 tratamento 1

tempo, h	-		superior		inferior
	ponto A	ar de secagem	grãos_40cm superior	exaustão superior	exaustão inferior
0,00	23,90	21,90	18,93	23,10	23,57
3,00	60,30	60,15	28,20	30,57	29,00
6,00	60,30	59,55	25,43	32,27	26,93
9,00	61,90	61,20	28,20	37,60	27,73
12,00	59,50	58,30	29,80	37,60	27,53
15,00	60,70	60,00	31,20	38,40	28,30
18,00	55,70	53,85	35,13	38,43	28,20
21,00	63,80	62,80	42,77	46,17	42,20
24,00	62,80	62,60	49,10	50,83	41,53
27,00	62,70	63,45	36,97	27,77	30,95
30,00	63,20	59,65	51,77	48,53	32,40
33,00	60,00	60,65	50,97	52,00	32,87
36,00	54,30	56,60	46,03	31,30	29,47
39,00	59,90	60,40	50,90	48,53	41,60
42,00	54,60	55,15	49,33	48,03	25,63
45,00	55,00	60,30	59,50	53,03	38,67

Quadro 7A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo modificado, teste 1 tratamento 2

Tempo, h	-		superior		inferior		
	ponto A	ar de secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	grãos_20cm inferior	grãos_40cm inferior	exaustão
0,00	15,80	16,97	17,05	17,13	17,17	17,20	17,10
3,00	60,90	63,40	46,00	37,83	46,23	42,50	21,60
6,00	61,00	61,43	42,40	40,73	50,13	48,60	23,60
9,00	60,00	63,47	46,90	46,20	53,33	51,20	24,23
12,00	60,50	62,30	47,50	45,87	53,77	51,20	20,97
15,00	62,70	62,30	49,80	48,67	55,77	53,60	21,17
18,00	60,20	62,80	49,20	47,50	55,00	54,30	20,33
21,00	61,70	62,63	51,30	49,67	59,33	58,80	22,77

Quadro 8A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo comercial, teste 1 tratamento 2

tempo, h	ponto A	ar de secagem	superior		inferior
			grãos_40cm superior	exaustão superior	exaustão inferior
0,00	16,50	17,15	17,00	16,77	17,00
3,00	60,10	60,20	36,07	28,63	23,80
6,00	62,00	59,80	42,87	35,33	22,93
9,00	59,30	59,45	41,10	33,83	21,60
12,00	58,30	53,90	39,53	32,33	19,50
15,00	66,60	65,45	45,07	29,63	18,00
18,00	54,30	54,20	44,73	32,90	18,67
21,00	60,30	58,90	44,93	33,27	18,40

Quadro 9A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo modificado, teste 2 tratamento 2

tempo, h	-		superior		inferior		
	ponto A	ar de secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	grãos_20cm inferior	grãos_40cm inferior	exaustão
0,00	17,90	19,07	18,30	18,20	19,07	20,15	17,67
3,00	61,80	61,60	35,55	32,60	45,57	37,65	17,53
6,00	60,10	59,07	35,10	33,93	43,63	36,85	16,83
9,00	61,80	61,73	41,10	38,77	48,73	40,15	19,80
12,00	60,20	62,60	44,70	40,60	49,93	47,05	23,70
15,00	62,10	62,07	48,10	43,57	52,53	49,10	26,97
18,00	61,50	62,40	49,70	45,27	53,80	52,55	26,60
21,00	61,40	60,83	50,55	45,33	56,03	53,15	23,13

Quadro 10A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo comercial, teste 2 tratamento 2

tempo, h			superior			inferior
tempo	ponto A	ar de secagem	grãos_40cm superior	exaustão superior	exaustão inferior	
0,00	17,60	18,65	17,87	17,47		17,90
3,00	66,70	65,40	29,83	20,97		16,97
6,00	61,40	58,95	34,60	26,97		17,10
9,00	63,00	61,50	39,07	30,80		19,60
12,00	61,00	60,65	41,37	35,07		23,07
15,00	63,00	62,15	45,53	37,53		25,87
18,00	63,60	62,95	45,80	35,20		25,70
21,00	63,60	62,40	44,27	34,37		21,23

Quadro 11A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo modificado, teste 3 tratamento 2

tempo, h	-		superior		inferior		
-	ponto A	ar de secagem	grãos_20cm superior	grãos_40cm superior	grãos_20cm inferior	grãos_40cm inferior	exaustão
0,00	16,90	20,03	18,60	18,43	20,10	19,50	18,73
3,00	60,90	61,10	41,10	36,77	45,40	39,60	24,40
6,00	60,70	60,40	40,45	36,80	45,07	42,20	18,83
9,00	61,60	63,00	40,65	39,20	45,70	43,55	17,30
12,00	60,20	62,00	45,50	45,67	51,27	47,75	20,60
15,00	60,40	62,20	49,00	47,27	54,13	51,70	25,57
18,00	61,00	63,80	50,50	49,50	56,53	54,70	29,67

Quadro 12A – Temperaturas do ar de secagem, intergranular e de exaustão em função do tempo de secagem, determinadas no secador rotativo comercial, teste 3 tratamento 2

tempo, h	-		superior			inferior
-	ponto A	ar de secagem	grãos_40cm superior	exaustão superior	exaustão inferior	
0,00	23,30	19,60	18,50	19,13		18,73
3,00	57,00	56,70	34,17	24,53		18,70
6,00	60,00	59,55	33,13	26,23		16,67
9,00	63,70	61,80	39,60	29,80		16,30
12,00	62,20	60,30	40,73	31,07		22,83
15,00	61,30	59,70	46,20	39,50		27,10
18,00	63,40	63,10	45,77	36,23		31,70

Quadro 13A – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, testes 1, 2 e 3, tratamento 1

Tempo, h	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	temperatura	umidade relativa	temperatura	umidade relativa	temperatura	umidade relativa
0,00	15,60	89,20	24,10	65,90	24,40	51,30
3,00	19,40	71,20	27,20	53,30	27,30	43,00
6,00	23,80	46,70	27,20	47,60	25,40	47,50
9,00	18,30	72,20	19,70	81,40	19,60	77,00
12,00	12,10	93,10	16,40	97,90	16,70	94,50
15,00	9,30	99,30	14,20	100,00	15,10	99,70
18,00	8,40	99,70	13,40	100,00	13,40	100,00
21,00	-	-	13,40	100,00	17,30	95,70
24,00	-	-	21,30	73,20	24,30	58,20
27,00	18,70	70,40	29,50	47,00	25,70	52,20
30,00	11,80	94,50	31,70	35,40	24,50	57,20
33,00	8,40	100,00	21,10	79,50	21,30	70,80
36,00	7,30	100,00	19,40	87,70	19,20	85,50
39,00	5,70	100,00	16,60	97,70	14,10	99,00
42,00	17,10	79,10	16,10	96,40	15,00	98,90
45,00	23,30	52,20	15,50	99,70	17,00	91,20
48,00	24,30	44,40	26,10	60,50	-	-
51,00	18,00	74,00	-	-	-	-

Quadro 14A – Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, testes 1, 2 e 3, tratamento 2.

Tempo, h	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	temperatura	umidade relativa	temperatura	umidade relativa	temperatura	umidade relativa
0,00	17,40	93,20	17,00	95,30	18,70	82,30
3,00	19,30	86,70	14,80	100,00	15,90	93,20
6,00	22,20	78,50	14,20	100,00	13,30	99,40
9,00	21,20	82,90	15,10	100,00	12,60	100,00
12,00	16,30	99,20	21,00	75,20	23,40	62,90
15,00	14,10	100,00	25,60	57,20	27,80	46,70
18,00	14,20	99,70	26,80	51,50	29,20	36,60
21,00	15,00	100,00	19,90	75,30	-	-

Quadro 15A – Variação do teor de água do café durante a secagem no secador rotativo horizontal modificado para os testes 1, 2 e 3, no tratamento 1.

Tempo, h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
-	% b.u.	% b.u.	% b.u.
0	67,98	65,98	63,20
3	65,36	64,15	61,10
6	64,62	61,96	57,78
9	60,89	58,69	54,12
12	59,09	56,29	50,75
15	55,89	51,80	45,80
18	52,77	47,43	42,67
21	50,83	41,94	37,48
24	48,50	37,29	32,37
27	41,10	32,98	29,58
30	35,33	29,40	24,17
33	31,21	24,54	20,27
36	27,45	20,20	16,55
39	24,44	16,35	15,90
42	22,59	14,49	13,16
45	17,22	12,18	11,61
48	14,61	10,50	11,51
51	10,67	-	-

Quadro 16A – Variação do teor de água do café durante a secagem no secador rotativo horizontal comercial para os testes 1, 2 e 3, no tratamento 1

Tempo, h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
-	% b.u.	% b.u.	% b.u.
0	68,99	65,80	60,98
3	65,60	63,75	59,53
6	61,02	60,43	55,60
9	55,27	54,79	52,32
12	49,42	50,04	47,85
15	43,99	44,92	43,24
18	40,39	41,24	39,07
21	36,69	36,82	34,69
24	35,47	33,12	31,88
27	26,58	29,25	27,36
30	22,19	24,47	23,50
33	19,58	21,19	20,69
36	16,68	17,70	17,91
39	15,21	14,70	16,02
42	13,14	13,89	14,55
45	11,00	11,89	11,54
48	10,93	10,75	11,03

Quadro 17A – Variação do teor de água do café durante a secagem no secador rotativo horizontal modificado para os testes 1, 2 e 3, no tratamento 2

Tempo, h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
-	% b.u.	% b.u.	% b.u.
0,00	31,68	40,24	35,54
3,00	31,01	36,07	29,80
6,00	27,80	33,34	24,22
9,00	21,79	26,95	19,92
12,00	17,74	23,29	17,12
15,00	14,96	19,17	14,57
18,00	12,63	16,40	12,08
21,00	10,70	14,20	-
24,00	-	10,00	-

Quadro 18A – Variação do teor de água do café durante a secagem no secador rotativo horizontal comercial para os testes 1, 2 e 3, no tratamento 2

Tempo, h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
-	% b.u.	% b.u.	% b.u.
0,00	32,63	40,09	33,66
3,00	29,85	32,77	27,44
6,00	26,02	27,91	22,70
9,00	19,97	22,98	18,93
12,00	16,92	19,32	16,06
15,00	14,10	16,02	12,76
18,00	13,30	13,37	10,10
21,00	11,35	11,97	-
24,00	10,53	-	-

Quadro 19A – Variação do teor de água do café durante a secagem no terreiro para os testes 1, 2 e 3, no tratamento 1

Teste 1		Teste 2		Teste 3	
% b.u.	Tempo (dias)	% b.u.	Tempo (dias)	% b.u.	Tempo (dias)
68,12	0	65,69	0	62,07	0
65,81	1	61,07	1	49,66	1
27,4	11	51,83	2	40,96	2
13,62	16	43,93	3	34,53	3
12,59	17	41,22	4	31,38	4
-	-	38,6	5	24,6	5
-	-	35,13	6	20,79	6
-	-	28,45	7	18,3	7
-	-	23,01	8	15,37	8
-	-	18,51	9	14,42	9
-	-	15,65	10	12,66	10
-	-	13,19	11	11,95	11
-	-	11,38	12	-	-

Quadro 20A – Variação do teor de água do café durante a secagem no terreiro para os testes 1, 2 e 3, no tratamento 2

Teste 1		Teste 2		Teste 3	
% b.u	Tempo (dias)	% b.u	Tempo (dias)	% b.u	Tempo (dias)
32,63	0	39,65	0	35,54	0
47,26	1	31,76	1	20,88	1
35,89	2	22,04	2	15,67	2
26,9	3	19,53	3	14,6	3
26,56	4	17,78	4	12,58	4
20,79	5	15,49	5	9,89	5
16,82	6	13,56	6	8,37	6
12,89	7	11,67	7		-
12,38	8	10,73	8		-
12,19	9	-	-	-	-
11,37	10	-	-	-	-

Quadro 21A - Variação da massa específica aparente do café, no secador rotativo horizontal modificado, conforme o tempo de secagem nos testes 1, 2 e 3, no tratamento 1

Tempo , h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
0	548,96	586,49	566,62
3	549,03	580,44	574,97
6	533,35	577,85	565,21
9	522,16	579,39	538,56
12	521,29	551,07	529,44
15	527,19	537,6	528,85
18	528,64	521,67	509,68
21	496,13	506,95	491,61
24	515,87	508,15	456,47
27	500,36	491,53	454,45
30	491,53	476,21	443,89
33	491,37	449,69	420,67
36	486,76	441,39	417,91
39	475,45	425,67	416,37
42	457,61	423,19	406,72
45	-	412,08	-
48	-	407,28	-
51	-	-	-

Quadro 22A – Variação da massa específica aparente do café, no secador rotativo horizontal comercial, conforme o tempo de secagem nos testes 1, 2 e 3, no tratamento 1

Tempo , h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
0	526,12	582,75	581,28
3	556,55	598,67	587,55
6	520,81	579,25	578,37
9	519,2	552,29	549,69
12	490,21	530,03	517,15
15	520,31	533,61	505,76
18	501	531,32	540,97
21	509,96	546,12	538,29
24	452,37	504,73	465,59
27	438,64	484,16	441,11
30	473,2	463,17	457,81
33	434,92	444,85	446,77
36	436,48	423,28	440,6
39	427,01	427,93	429,65
42	429,63	414,55	424,23
45	-	417,51	434,91
48	-	409,13	-
51	-	-	-

Quadro 23A – Variação da massa específica aparente do café, no secador rotativo horizontal modificado, conforme o tempo de secagem nos testes 1, 2 e 3, no tratamento 2

Tempo , h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
0	393,59	419,8	400,71
3	386,89	413,17	380,69
6	392,75	394,29	375,59
9	386,15	387,85	392,44
12	381,77	401,12	392,49
15	379,71	399,63	383,96
18	369,28	388,35	380,39
21	361,73	374,44	-
24	-	387,57	-

Quadro 24A – Variação da massa específica aparente do café, no secador rotativo horizontal comercial, conforme o tempo de secagem nos testes 1, 2 e 3, no tratamento 2

Tempo , h	Teste 1	Teste 2	Teste 3
0	358,47	410,75	382,52
3	421,32	383,85	395,15
6	416,43	419,83	412,08
9	407,64	438,05	418,8
12	405,73	418,73	406,07
15	409,93	402,36	397,49
18	399,91	416,52	402,73
21	402,68	409,56	-
24	-	417,32	-

Quadro 25A – Variação da pressão estática, nos dois secadores rotativo, modificado e comercial, em função do tempo de secagem nos testes 1, 2 e 3, no tratamento 1

Tempo, h	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial
-						
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
6,00	15,00	2,00	15,00	3,00	15,00	14,00
9,00	15,00	2,00	15,00	5,00	15,00	14,00
12,00	15,00	2,00	15,00	3,00	15,00	14,00
15,00	15,00	2,00	15,00	3,00	15,00	14,00
18,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
21,00	-	-	15,00	2,00	15,00	14,00
24,00	-	-	15,00	2,00	15,00	14,00
27,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
30,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
33,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
36,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
39,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
42,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
45,00	15,00	2,00	15,00	2,00	15,00	14,00
48,00	15,00	2,00	15,00	2,00	-	14,00
51,00	15,00	2,00	-	-	-	-

Quadro 26A – Variação da pressão estática, nos dois secadores rotativo, modificado e comercial, em função do tempo de secagem nos testes 1, 2 e 3, no tratamento 2.

Tempo, h	Teste 1		Teste 2		Teste 3	
	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial	Modificado	Comercial
-						
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	11,00	3,00	12,00	3,00	13,00	2,50
6,00	11,00	3,00	12,00	3,00	13,00	2,50
9,00	11,00	3,00	12,00	3,00	13,00	2,50
12,00	11,00	3,00	12,00	3,00	11,00	2,50
15,00	11,00	3,00	12,00	3,00	12,00	3,00
18,00	11,00	3,00	12,00	3,00	12,00	3,00
21,00	11,00	3,00	12,00	3,00	-	-

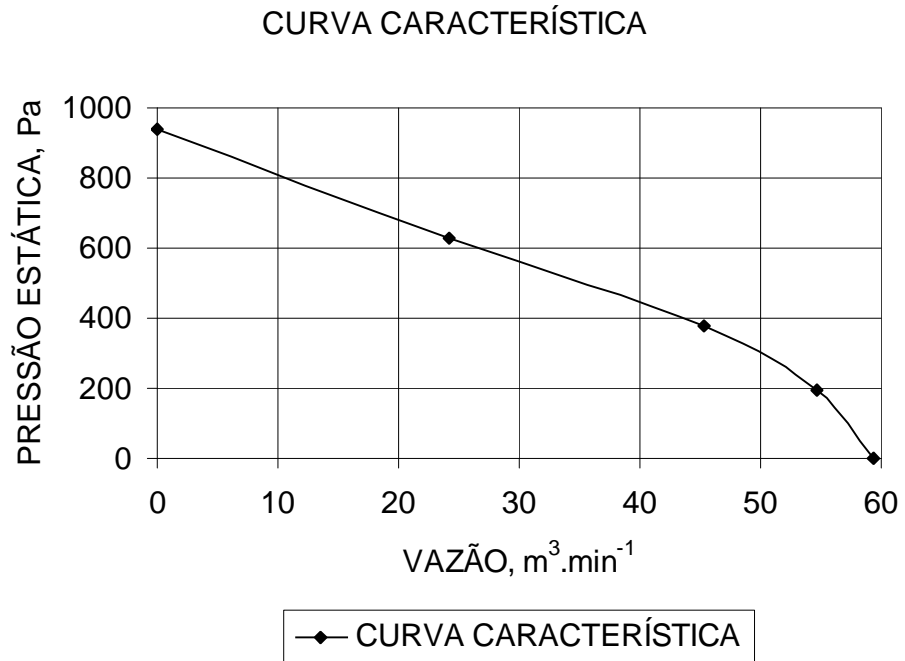


Figura A – Curva característica do ventilador utilizado no secador rotativo modificado.

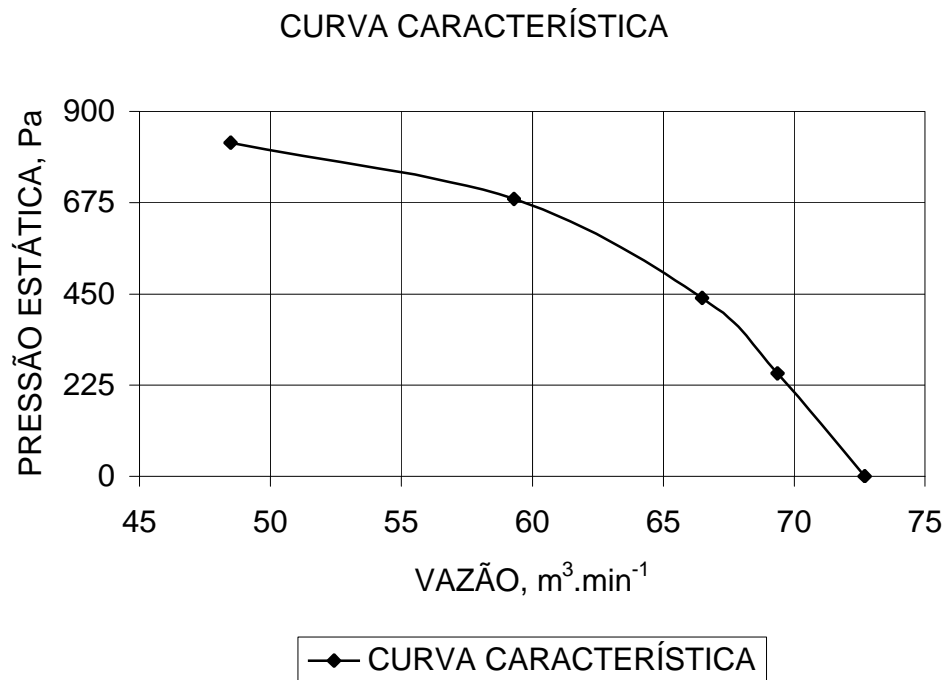


Figura B – Curva característica do ventilador utilizado no secador rotativo comercial.