

PEDRO AMORIM BERBERT

SECAGEM DE CAFE (*Coffea arabica* L.), EM CAMADA FIXA,  
COM INVERSAO DE SENTIDO DE FLUXO DE AR

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Engenharia  
Agrícola, para Obtenção do Título de  
"Magister Scientiae".

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
DEZEMBRO - 1991

A meu pai, Pedra.

A minha mãe, Zélia.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem - CENTREINAR, pelo apoio oferecido durante a realização dos testes experimentais.

Ao professor José Borges Pinheiro Filho, pela orientação no decorrer deste trabalho.

Ao professor Juarez de Sousa e Silva, pelas eficientes sugestões e pelos ensinamentos.

Ao professor Daniel Marçal de Queiroz, pela amizade, apoio e inestimável colaboração.

Ao Engenheiro de Alimentos José Antônio Marques Pereira, pelas sugestões e atenção.

A Adriana Corrêa Guimarães, pela colaboração na obtenção dos dados, pelo companheirismo e dedicação.

A Rita das Graças Felix Fortes, pelo excelente trabalho de revisão do texto.

Ao funcionário do CENTREINAR, Francisco Carlos Alves Neto, pelo auxílio dispensado durante a construção do secador experimental.

Aos proprietários e funcionários da Fazenda Mundial, pela colaboração.

A Senhora Edna Maria Soares Rodrigues pelo apoio e paciência no decorrer deste curso.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

PEDRO AMORIM BERBERT, filho de Pedro Osias Berbert e Zélia Amorim Berbert, nasceu em Carangola, Estado de Minas Gerais, em 24 de abril de 1961.

Em 1986, graduou-se em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 1987, foi contratado pela Agroceres Rações Indústria e Comércio Ltda, localizada em Patos de Minas, MG.

Em agosto de 1988, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

## CONTEUDO

	página
LISTA DE SIMBOLOS .....	viii
EXTRATO .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Considerações Gerais .....	3
2.2. Tecnologia de Secagem .....	4
2.2.1. Secagem com Inversão de Sentido de Fluxo de Ar .....	7
2.2.2. Aspectos Qualitativos do Café .....	9
2.3. Simulação de Secagem .....	11
3. MATERIAL E METODOS .....	13
3.1. Secador Experimental .....	14
3.2. Procedimento Experimental .....	14
3.3. Simulação de Secagem .....	16
3.4. Análise dos Dados Experimentais e Simulados .....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	45

BIBLIOGRAFIA .....	48
APENDICES .....	52

## LISTA DE SIMBOLOS

<b>b.s.</b>	=	<b>base seca</b>
<b>b.u.</b>	=	<b>base úmida</b>
<b>c</b>	=	<b>calor específico do produto, <math>\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}</math></b>
<b>L</b>	=	<b>entalpia de vaporização, <math>\text{kJ kg}^{-1}</math></b>
<b>M</b>	=	<b>massa específica inicial do produto, <math>\text{kg m}^{-3}</math></b>
<b>RU</b>	=	<b>razão de umidade, dimensional</b>
<b>T</b>	=	<b>temperatura do ar, <math>^{\circ}\text{C}</math></b>
<b>t</b>	=	<b>tempo de secagem, min</b>
<b>U</b>	=	<b>teor de umidade do produto, decimal, b.s.</b>
<b>UR</b>	=	<b>umidade relativa do ar, decimal</b>

## INDICES

<b>abs</b>	=	<b>absoluta</b>
<b>e</b>	=	<b>equilíbrio</b>
<b>eq</b>	=	<b>equivalente</b>
<b>o</b>	=	<b>inicial</b>
<b>p</b>	=	<b>produto</b>
<b>y</b>	=	<b>vapor</b>



## EXTRATO

BERBERT, Pedro Amorim, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1991. *Secagem de Café (Coffea arabica L.) em Camada Fixa, com Inversão de Sentido de Fluxo de Ar.* Professor Orientador: José Borges Pinheiro Filho. Professores Conselheiros: Juarez de Sousa e Silva e Daniel Marçal de Queiroz.

Desenvolveu-se um programa de simulação de secagem de café, em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar, a partir do modelo matemático de simulação de secagem proposto por Thompson *et alii*. Para validação do modelo, foram coletados dados experimentais utilizando-se dois níveis de temperatura de ar de secagem (50 e 70 °C), um nível de fluxo de ar de secagem ( $15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) e dois intervalos de tempo para inversão (3 e 6 h), além da secagem convencional em camada fixa.

As diferenças absolutas, médias e máximas, entre os valores experimentais e simulados de teor de umidade e de temperatura foram consideradas aceitáveis para fins de engenharia. Concluiu-se que o programa de computador

implementado pode ser utilizado na avaliação e otimização do processo de secagem de café em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar.

A secagem com inversão de fluxo de ar, para uma mesma altura de camada de grãos, apresenta vantagem sobre a secagem convencional quanto à uniformidade da teor de umidade final. O consumo específico de energia e o tempo de secagem não se alteram, ao se mudar de um sistema para outro.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de o Brasil continuar sendo o maior produtor e exportador mundial de café e de ter participado com 70% do volume comercializado no mercado internacional em 1960, essa participação atualmente não ultrapassa os 30%. Além dessa redução, o café brasileiro, devido à sua qualidade inferior, recebe em média um preço menor que o café suave produzido por outros países, principalmente Quênia, Etiópia e Colômbia (FERREIRA *et alii*, 1989).

Na comercialização de produtos agrícolas no mercado interno, o preço não é afetado, de modo geral, pelas características qualitativas desses produtos. O café é um dos poucos produtos cujo valor cresce com a melhoria da qualidade; um produto de qualidade inferior pode sofrer redução de até 40% no preço (CARVALHO e CHALFOUN, 1985; FERREIRA *et alii*, 1989).

Assim, o desenvolvimento de tecnologias que comprovadamente atuem no sentido de proporcionar um produto de melhor qualidade, desde a produção até o armazenamento, é indispensável para reverter a situação atual.

Dentre as diversas tentativas visando a melhoria dos secadores mecânicos quanto ao desempenho, o método de secagem, relativamente recente, que utiliza a inversão de fluxo de ar tem se mostrado promissor. Este método foi desenvolvido com o objetivo de minimizar o gradiente de umidade da massa de grãos, em secadores de leito fixo, muito utilizados na secagem de café.

A utilização de modelos matemáticos de simulação de secagem tem contribuído no projeto, avaliação e otimização dos diversos sistemas de secagem (MOREY *et alii*, 1978). O modelo desenvolvido por THOMPSON *et alii* (1968), tem sido usado com sucesso na simulação de secagem de café, apesar das simplificações admitidas no seu desenvolvimento (OSORIO, 1982; OLIVEROS TASCÓN, 1984; GUIMARÃES *et alii*, 1991; SILVA, 1991).

Tendo em vista a preservação da qualidade do produto e a diminuição do gradiente de umidade após a secagem, este trabalho tem como objetivo adaptar e validar o modelo de Thompson para simulação de secagem de café, em ramada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Considerações Gerais

O elevado teor de umidade do café durante a colheita (1,50 a 2,33 b.s.) favorece o desenvolvimento de microrganismos (fungos, leveduras, bactérias) na superfície dos frutos, bem como o aumento do Índice de respiração e da temperatura do produto, com conseqüente fermentação do mesmo. Deve-se, portanto, promover a secagem do produto logo após a colheita, visando à preservação de sua qualidade (SINHA e MUIR, 1973; DORFMAN *et alii*, 1981).

Diversos fatores influenciam o tempo necessário para a redução do teor de umidade de um produto a um nível adequada. Fatores tais como temperatura, razão da mistura e fluxo do ar de secagem; altura da camada, temperatura e teor de umidade inicial do produto devem ser levados em conta para se determinar o tempo necessário para que o produto atinja um teor de umidade para armazenagem segura. Uma vez identificados estes fatores, pode-se definir o equipamento adequado para a secagem do produto (BROOKER *et alii*, 1974; DALPASQUALE *et alii*, 1987).

## 2.2. Tecnologia de Secagem

No Brasil, utilizam-se basicamente dois métodos para a secagem de café. Estes métodos contrastam-se no que diz respeito aos aspectos tecnológicos envolvidos (OSORIO *et alii*, 1983):

- secagem em terreiros: esparrama-se a produto em pisos, que podem ser de cimento, de tijolo ou de chão batido. A baixa taxa de secagem e a exposição do produto a agentes biológicos, inerentes ao próprio método de secagem, juntamente com a possibilidade de ocorrência de condições climáticas desfavoráveis, podem proporcionar a perda de qualidade do produto. Este método é utilizado intensivamente pelos produtores de café;

- secagem em secadores, mecânicos: forra-se o ar aquecido através da massa de grãos. Os equipamentos disponíveis no Brasil, de modo geral, apresentam baixa eficiência de secagem, devido ao fato de não terem sido projetados especificamente para o café, e custo elevada, tornando-os acessíveis apenas para grandes cafeicultores ou cooperativas.

A dificuldade de escoamento que o café apresenta no início da secagem, inviabiliza a utilização de secadores dotados de dispositivos convencionais de transporte de grãos. O processo mais utilizado atualmente consiste na realização de uma pré-secagem em terreiro, para posterior utilização de secadores mecânicos (SILVA, 1991).

Os secadores disponíveis no mercado são de vários tipos. Dependendo do sentido de movimentação do ar em

relação ao grão, destacam-se quatro classes principais (BROOKER *et alii*, 1974):

- a) secador de camada fixa, sem movimento do produto;
- b) secador de fluxos cruzados, em que o ar se movimenta numa direção perpendicular & dos grãos;
- c) secador de fluxos paralelos ou concorrentes, em que o ar e os grãos se movimentam no mesmo sentido;
- d) secador de fluxos contracorrentes, em que o ar e os grãos se movimentam em sentidos opostos.

O processo de secagem, quanto à movimentação do ar aquecido, pode ser classificado em dois tipos:

- a) secagem contínua - neste método, o ar passa através da massa granular durante todo o processo;
- b) secagem intermitente - neste método, há períodos de interrupção da passagem da ar de secagem através da massa granular. Durante estas interrupções, o grão pode ou não receber ar ambiente.

Na secagem convencional em camada fixa, a temperatura do ar deve ser mantida em níveis relativamente baixos, minimizando a supersecagem nas camadas inferiores. O aumento da vazão de ar, visando a diminuir o gradiente de umidade da massa de grãos, é limitada pela capacidade do ventilador. Quanto maior a altura da camada de produto, menor deverá ser a temperatura da ar de secagem e maior deverá ser a vazão do ar. Essas limitações da secagem em camada fixa, que são semelhantes à de secagem com fluxos cruzados, têm exigido um intenso trabalho de pesquisa, visando a otimizar o processo (PIERCE e THOMPSON, 1975).

Várias alternativas de secagem têm sido propostas visando à obtenção de um produto final de melhor qualidade. Foster, citado por BROOKER et alii (1974), desenvolveu o processo de seca-aeração para milho, processo este que é uma combinação de secagem, repouso e aeração. Segundo CLOUD e MOREY (1980), o processo de seca-aeração apresenta as seguintes vantagens em relação à secagem em altas temperaturas com resfriamento no próprio secador:

- a) redução do consumo de energia;
- b) produto final de melhor qualidade, e
- c) aumento da capacidade de secagem.

CORDEIRO (1982), analisando o efeito da temperatura e tempo de repouso sobre o perfil de umidade na secagem de café, em camada fixa, concluiu que os grãos submetidos ao processo de seca-aeração apresentaram maior uniformidade na teor de umidade ao longo da camada e, conseqüentemente, menor gradiente de umidade, comparada com a secagem convencional. A temperatura de secagem de 50 °C e o intervalo de tempo de repouso de 12 horas foi o tratamento que apresentou melhores resultados, com gradiente final de teor de umidade de 0,021 ponto decimal, b.s., a que representa uma redução de aproximadamente 50%, comparada com a secagem convencional.

O revolvimento da camada de grãos durante a secagem pode ser utilizado para obtenção de um produto mais uniforme em termos de teor de umidade e de temperatura. Segundo SABBAN et alii (1977), esta técnica apresenta algumas vantagens tais como o aumento no percentual de grãos



quebrados, a elevação no custo do secador e maior custo operacional devido ao acionamento do mecanismo de revolvimento.

### 2.2.1. Secagem com Inversão de Sentido de Fluxo de Ar

A simulação do processo de secagem tem permitido estudar alternativas para diminuir as limitações da secagem em camada fixa. PAULSEN e THOMPSON (1973) concluíram que a inversão do fluxo de ar em um secador de fluxos cruzados para milho promoveu redução de 60 a 75% no gradiente de umidade final, em comparação com a secagem convencional. Esta redução no gradiente de umidade era acompanhada de redução na capacidade de secagem, expressa em  $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$  e de aumento no consumo específico de energia, expresso em  $\text{kJ kg}^{-1}$ . A capacidade de secagem sofreu redução de 2 e 8%, para temperaturas de 48 e 115 °C, respectivamente.

SABBAH *et alii* (1977), analisando o efeito de diferentes intervalos de tempo para a inversão de fluxo de ar sobre a homogeneidade do teor de umidade final de sementes de soja, concluíram que a inversão periódica do fluxo de ar proporcionava uma distribuição mais uniforme do teor de umidade final e que o intervalo de tempo para inversão que propiciava uma secagem mais uniforme e um produto de melhor qualidade, dependia das condições do ar de secagem, do teor de umidade inicial e da profundidade da camada.

SABBAH *et alii* (1979), simulando a secagem de sementes de soja, em camada fixa, com inversão de fluxo de ar, utilizando o modelo de Michigan, utilizaram o Índice de

Uniformidade do teor de umidade final como parâmetro de comparação entre os dois métodos de secagem. O Índice de Uniformidade foi definido como sendo a porcentagem de grãos cujo teor de umidade se encontrava dentro da faixa  $U + \Delta U$ , sendo  $U$  o teor de umidade final médio desejado e  $\Delta U$  a tolerância arbitrariamente escolhida. Para teor de umidade final médio de 0,13 b.s. e tolerância de 0,015 b.s., concluíram que:

1 - o Índice de Uniformidade aumentava com o aumento do fluxo de ar, tanto na secagem convencional quanta na secagem com inversão. Porém, o efeito era mais pronunciado na secagem com inversão, com o Índice variando de 14 a 85% contra 8 a 22%, quando o fluxo de ar aumentava de 6,9 para  $27,6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ ;

2 - os maiores valores para o Índice de Uniformidade foram obtidos com as menores temperaturas e maiores valores de umidade relativa do ar de secagem;

3 - para ambos os métodos, quanto maior o teor de umidade inicial, menor o Índice de Uniformidade e,

4 - apesar de o consumo de energia ser ligeiramente superior àquele obtido com secagem convencional em camada fixa, existe uma compensação devido ao melhor preço na comercialização do produto de melhor qualidade.

DAVILA *et alii* (1983), simulando a secagem de arroz em casca com inversão de fluxo de ar, utilizando o modelo de Michigan em camada fixa, concluíram que:

1 - há redução no gradiente de umidade final dos grãos;

2 - o consumo de energia aumenta cerca de 10%;

3 - temperaturas mais elevadas do ar de secagem requerem maiores fluxos de ar para obtenção de maior homogeneidade do teor de umidade final;

4 - temperaturas baixas (35 a 43,3 °C) em combinação com fluxos de ar elevados (41,4 a 55,2 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>) são recomendadas:

5 - temperatura de 35 °C e umidades relativas em torno de 55% resultaram em menores gradientes de umidade final do produto, tanto no sistema com inversão de fluxo quanto no convencional.

SABIONI (1986) concluiu que o consumo específico de energia de um secador de fluxos cruzados, intermitente, com inversão e reaproveitamento do ar de exaustão, na secagem de milho a 100 °C, era 30% menor que o consumo específico dos secadores de fluxos cruzados contínuos, quando o teor de umidade era reduzido de 25 para 15% b.u..

### 2.2.2. Aspectos Qualitativos do Café

A cafeicultura nacional defronta-se atualmente com um problema básico em relação à qualidade do café, principalmente no que diz respeito à bebida. A Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos fixou, em 1978, padrões de qualidade para alimentos e bebidas, incluindo o café, classificando-o quanto ao tipo, bebida, peneira e cor. A classificação pela bebida é feita de acordo com as seguintes especificações (CARVALHO e CHALFOUN, 1985):

- a - estritamente mole: gosto doce, muito suave;
- b - mole: gosto doce e suave;
- c - apenas mole: gosto suave;
- d - duro: gosto áspero;
- e - riado: gosto leve do tipo rio, e
- f - rio: gosto áspero, lembrando iodofórmio.

A qualidade da bebida do café depende de vários fatores, dentre os quais citam-se (SIVETZ, 1963):

1 - composição química do grão, determinada por fatores genéticos, culturais e ambientais;

2 - processo de preparo e conservação do grão, no qual intervêm a ação da umidade e da temperatura, propiciando a deterioração e fermentações indesejáveis;

3 - torração, que provoca mudanças nas propriedades físicas do grão, tais como forma, cor e tamanho e alterações em sua constituição química, devido principalmente às reações de pirólise, nas quais ocorrem simultaneamente degradações e sínteses de compostas. E através destas reações, que ocorrem à aproximadamente 204 °C e num intervalo de tempo muito curto, que se desenvolve o sabor do café.

A desuniformidade do produto quanto ao teor de umidade faz com que os grãos sejam submetidos à diferentes graus de torração, o que é indesejável para obtenção de um bom sabor. Os grãos com maior teor de umidade torrarão mais lentamente que os menos úmidos, produzindo uma supertorração destes antes do pleno desenvolvimento de sabor daqueles (CARVALHO e CHALFOUN, 1985).

### 2.3. Simulação de Secagem

A simulação de secagem em camada fixa tem sido estudada com a utilização de diversos modelos. Hukill, em 1947, desenvolveu um modelo para simulação de secagem, em camada espessa, baseado em uma equação do teor de umidade do produto em função da altura da camada e do tempo de secagem. Apesar do surgimento de modelos mais complexos, a facilidade de solução contribuiu para que o modelo de Hukill continue sendo utilizado na análise de problemas relativos à secagem de grãos (QUEIROZ *et alii*, 1985).

THOMPSON *et alii* (1968) apresentaram um modelo para simulação de secagem, em camada espessa, baseado em uma equação empírica de secagem em camada delgada, e nas leis de transferência simultânea de energia e massa. Utilizou-se, como artifício, a divisão do processo de secagem em vários subprocessos. A camada espessa de grãos foi subdividida em camadas de espessura reduzida, dispostas umas sobre as outras. As variações nas condições do ar e do grão, em cada camada, são calculadas com base em pequenos incrementos de tempo. Durante a secagem, a temperatura do ar diminui, em consequência do aumento da temperatura dos grãos e da resfriamento evaporativo que acompanha a remoção de umidade. Neste modelo, após os balanços de energia, considera-se que a temperatura do grão seja igual à temperatura do ar que o envolve.

OLIVEROS TASCÓN (1984), utilizando o modelo de Thompson para simular a secagem convencional de café em camada fixa, para temperatura de 50 °C, fluxo de ar de 9,2

$\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$ , teor de umidade inicial de 27,8% b.u. e altura da camada de 0,55 m, obteve desvio absoluto médio de 1,5 pontos percentuais, b.u., entre os valores simulados e experimentais. Já GUIMARÃES *et alii* (1991), utilizando também o modelo de Thompson, obtiveram desvios absolutos, médio e máximo, de 3,45 e 10,2 pontos percentuais, b.u., ao simularem a secagem de café cereja, em camada fixa, para temperaturas de 50, 65 e 80 °C, fluxos de ar de 5, 10 e 20  $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$  e altura da camada de 0,55 m. Concluíram que os desvios absolutos entre os valores experimentais e simulados eram aceitáveis para fins de engenharia e que o modelo poderia ser utilizado na avaliação e otimização da secagem de café em camada fixa.

SILVA (1991), simulando a secagem de café em um secador intermitente de fluxos contracorrentes, utilizando temperaturas de 60, 80 e 100 °C e fluxo de ar de 18,5  $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{m}^{-2}$ , obteve desvio absoluto médio de 1,3 pontos percentuais, b.u. e considerou validado o modelo de Thompson para as condições estudadas.

O modelo de Michigan, proposto por BAKKER-ARKEMA *et alii* (1974), baseia-se na transferência simultânea de energia e de massa entre o ar de secagem e um volume diferencial de grãos, localizado numa posição arbitrária da camada. O modelo é composto de um sistema de quatro equações diferenciais parciais. O teor de umidade pode ser obtido usando-se uma equação empírica de secagem em camada delgada, ou um modelo matemático capaz de prever o fluxo de umidade no interior dos grãos.

### 3. MATERIAL E METODOS

Este trabalho foi realizado no Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) e no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Utilizou-se café (*Coffea arabica* L.) da variedade Catuaí, proveniente da Fazenda Mundial, município de Araponga, MG.

O produto foi colhido com teor de umidade médio de 1,795 b.s., pelo método de derrixa ao chão. Após lavagem, os grãos foram submetidos a uma pré-secagem em terreiro, até atingirem teor de umidade médio de 0,333 b.s..

Posteriormente, os grãos foram acondicionados em sacos de polietileno e armazenados em câmara climática sob temperatura de aproximadamente 3 °C. Para cada teste, uma quantidade suficiente do produto, após entrar em equilíbrio térmico com o ar ambiente (cerca de 12 horas), era submetida à secagem até atingir o teor de umidade final médio de 0,149 b.s..

### 3.1. Secador Experimental

Construiu-se um secador de seção transversal quadrática de 0,33 m de lado, constituída de duas seções de secagem, separadas por um compartimento intermediário de 0,20 m (Figura 1), para secagem em camada fixa, com inversão simulada do fluxo de ar. Cada seção de 0,45 m de comprimento era subdividida em três subcamadas de 0,15 m, para viabilizar as pesagens necessárias durante o processo de secagem.

### 3.2. Procedimento Experimental

A inversão do fluxo de ar foi simulada girando cada subcamada de  $180^\circ$  ao promover as trocas das subcamadas 1 com 6, 2 com 5 e 3 com 4. Foram analisados dois níveis de intervalo de tempo para inversão, 3 e 6 horas, além da secagem convencional, sem inversão. As temperaturas do ar de secagem foram de 50 e 70  $^\circ\text{C}$  e o fluxo de ar foi de  $15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto de 6 tratamentos com 3 repetições para cada tratamento, num total de 18 testes experimentais. Este procedimento visava à identificação das condições ideais de operação, tomando como base o consumo específico de energia ( $\text{kJ kg}^{-1}$  de água evaporada) e a homogeneidade do teor de umidade final.

Para determinação do teor de umidade do produto durante a secagem, realizaram-se pesagens das subcamadas a cada intervalo de 60 minutos, utilizando-se uma balança digital com precisão de  $\pm 0,01 \text{ kg}$ .



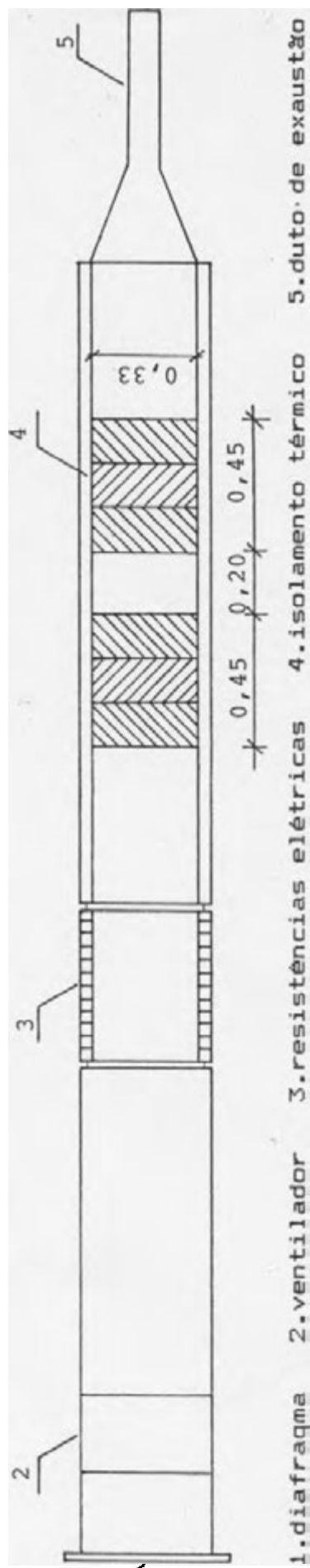


FIGURA 1 - Representação Esquemática do Secador Experimental.

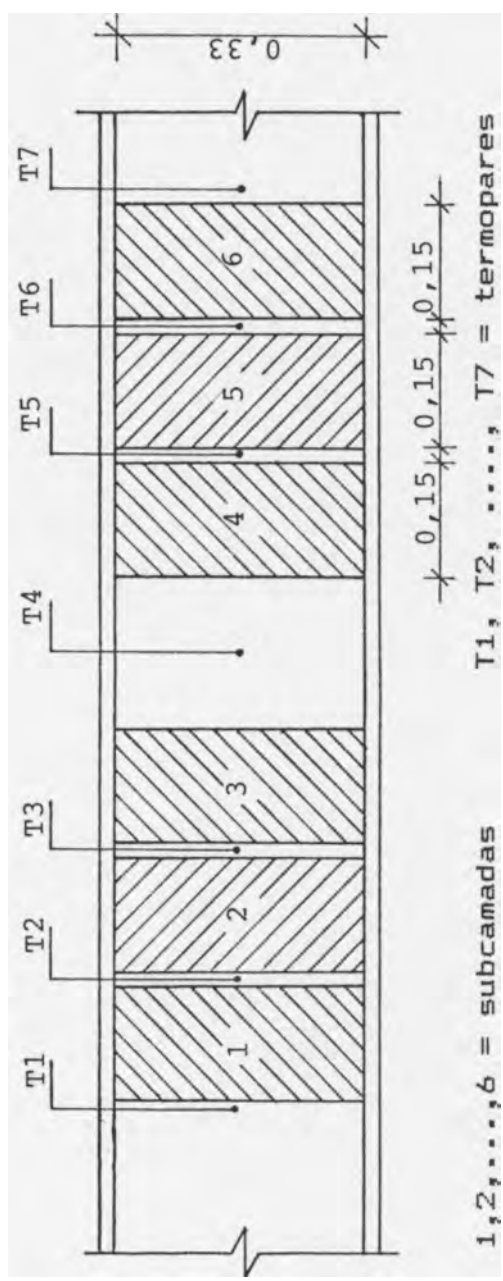


FIGURA 2 - Detalhe da Câmara de Secagem.

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas em um termo-higrógrafo instalado próximo ao secador. Para a determinação da temperatura de bulbo seco do ar na seção de secagem, instalaram-se termopares de cobre-constantan a cada 0,15 m, a partir do início da camada de grãos (Figura 2). As determinações foram realizadas a cada 15 minutos, utilizando-se um termômetro digital, com precisão de  $\pm 0,1$  °C, conectado a uma chave comutadora.

A vazão do ar de secagem foi determinada no duto de exaustão do secador utilizando-se um anemômetro de fio quente. As determinações foram realizadas a cada 15 minutos.

A massa específica aparente do produto foi determinada utilizando-se um medidor de peso hectolítrico de 250 cm<sup>3</sup> de capacidade.

Para determinação dos teores de umidade inicial e final, utilizou-se o método da estufa a 103 °C  $\pm 1$  °C, durante 72 horas (CHRISTENSEN, 1974).

A pressão estática foi determinada num ponto situado a 0,46 m do início da camada de grãos, utilizando-se um manômetro inclinado.

Para determinação das propriedades psicrométricas do ar de exaustão, instalou-se dois termômetros de mercúrio, para medir as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido, no duto de saída do ar de secagem. As determinações foram realizadas a cada 15 minutos.

### 3.3. Simulação de Secagem

Para **simulação** do processo de secagem foi elaborado um programa para computadores, utilizando-se a linguagem Turbo Pascal, versão 5.0, adaptando-se o modelo desenvolvido por THOMPSON *et alii* (1968). Utilizou-se, como dadas de entrada da programa, os valores medias de temperatura de bulbo seco e de **razão** da mistura do ar ambiente, de temperatura e de **fluxo** de ar de secagem e do teor de umidade inicial do produto.

As propriedades físicas do café que integram o modelo de **simulação** são apresentadas no Quadro 1.

#### 3.4. *Análise dos Dados Experimentais e Simulados*

A comparação entre os valores experimentais de umidade do grão e temperatura do ar com os valores obtidos através de **simulação** foi feita utilizando-se o método gráfico.

Determinaram-se também as diferenças absolutas, médias e máximas, entre os valores experimentais e simulados de teor de umidade e gradiente final de teor de umidade do produto e de temperatura do ar.

Após a avaliação do comportamento do modelo, comparando-se os resultados experimentais e simulados, conduziram-se **simulações** para várias condições de temperatura e intervalo de tempo para inversão do fluxo de ar.

QUADRO 1 - Propriedades Físicas do Café que Integram o Modelo de Thompson de Simulação de Secagem

Propriedade	Equação	Fonte
Teor de umidade de equilíbrio	$U_e = 1,1282 [-\ln(1 - UR_p) / (T_p + 40,535)]^{0,5405}$	(ARTEAGA, 1986)
Umidade relativa de equilíbrio	$UR_e = 1 - \exp [-0,8 (T_e + 40,535) U_e^{1,85}]$	(ARTEAGA, 1986)
Razão de umidade do produto	$RU = \exp[-105,756 t_{eq}^{0,60564} e^{(-2751,51/T_{abs})}]$	(FEREIRA, 1939)
Entalpia de vaporização	$L_v = 2109_p - 2,38T_{abs} + 0,369T_{abs}^2 \omega_e^{1,35} [(1-UR_e)/\omega R_e]$	(SILVA, 1991)
Calor específico	$C_p = 1,674 + 2,510 [U/(1+U)]$	(OLIVEROS TASCÓN, 1984)
Massa específica aparente do produto	$M = (396,48 + 224 U) / (1 + U)$	(SILVA, 1990)

\* para teores de umidade  $\leq 0,3889$  b.s.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa de computador desenvolvido, no presente trabalho, para simular a secagem de café em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar, encontra-se no Apêndice A e um exemplo da utilização deste programa acha-se no Apêndice B.

Os valores médios de temperatura e razão da mistura do ar ambiente, as condições iniciais da produto e os parâmetros de secagem utilizados nos testes experimentais, para temperaturas do ar de secagem de 50 e 70 °C, encontram-se nos Quadros 2 e 3, respectivamente. Estes valores foram também utilizados na simulação do processo de secagem. Os valores experimentais de temperatura do ar de secagem e teor de umidade do produto estão no Apêndice C. Os resultados dos testes experimentais, para temperaturas de 50 e 70 °C, encontram-se nos Quadros 4 e 5, respectivamente.

Nas Figuras 3 e 4 vêem-se os gráficos de correspondência entre os valores de teores de umidade, experimentais e simulados, para as temperaturas de 50 e 70 °C,

**QUADRO 2 - Condições Médias do Ar e do Grão, para Temperatura de Secagem de 50 °C**

TESTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Condições do ar ambiente:</i>									
Temperatura, °C	26,5	26,5	25,4	26,3	25,3	25,1	27,5	26,5	25,1
Razão da mistura, kg kg <sup>-1</sup>	0,0157	0,0152	0,0153	0,0135	0,0141	0,0144	0,0152	0,0132	0,0129
<i>Condições de secagem:</i>									
Temperatura, °C	50,1	50,2	50,2	50,4	50,3	50,1	50,3	50,5	50,1
Fluxo de ar seca, kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	0,27	0,27	0,28	0,27	0,29	0,28	0,28	0,29	0,29
<i>Condições iniciais do produto:</i>									
Temperatura, °C	21,0	23,0	20,0	20,5	21,6	21,0	20,6	19,6	20,0
Tear de umidade, decimal, base seca	0,337	0,337	0,332	0,335	0,330	0,337	0,333	0,332	0,330
Massa específica aparente, kg m <sup>-3</sup>	440,0	435,3	440,0	437,4	437,6	438,0	430,1	439,5	435,9

QUADRO 3 - Condições Médias do Ar e do Grão, para Temperatura de Secagem de 70 °C

TESTES	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>Condições do ar ambiente:</i>									
Temperatura, °C	23,4	24,5	28,0	22,7	25,3	25,6	26,4	28,3	30,3
Razão da mistura, kg kg <sup>-1</sup>	0,0125	0,0142	0,0102	0,0131	0,0137	0,0135	0,0130	0,0154	0,0148
<i>Condições de secagem:</i>									
Temperatura, °C	70,0	70,5	70,2	69,7	70,2	70,1	69,7	70,3	70,3
Fluxo de ar seco, kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	0,26	0,29	0,29	0,28	0,28	0,25	0,26	0,28	0,25
<i>Condições iniciais do produto:</i>									
Temperatura, °C	20,0	15,0	19,4	20,6	18,0	20,0	22,5	21,8	22,0
Teor de umidade, decimal, base seca	0,344	0,346	0,330	0,337	0,325	0,332	0,318	0,340	0,332
Massa específica aparente, kg m <sup>-3</sup>	429,1	425,6	434,5	450,8	433,9	432,6	433,8	437,5	433,3

QUADRO 4 - Teor de Umidade Final Médio, Gradiente Final de Teor de Umidade e Tempo de Secagem para Temperatura de 50 °C

TESTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Intervalo de tempo para inversão de sentido do fluxo de ar, h	*	*	*	3	3	3	6	6	6
Teor de umidade final médio, decimal, b.s.	0,055	0,157	0,150	0,175	0,156	0,163	0,157	0,157	0,159
Gradiente final de teor de umidade, ponto decimal, b.s.	0,069	0,071	0,068	0,032	0,019	0,025	0,024	0,026	0,025
Tempo de secagem, h	15	15	15	16	18	16	18	17	17
* secagem convencional em camada fixa, sem inversão de fluxo de ar.									



QUADRO 5 - Teor de Umidade Final Médio, Gradiente Final de Teor de Umidade e Tempo de Secagem para Temperatura de 70 °C

TESTES	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Intervalo de tempo para inversão de sentido do fluxo de ar, h	-	*	-	*	*	-	*	-	*
Teor de umidade final médio, decimal, b.s.	0,151	0,156	0,144	0,142	0,155	0,157	0,143	0,152	0,160
Gradiente final de teor de umidade, ponto decimal, b.s.	0,112	0,110	0,106	0,058	0,046	0,065	0,030	0,081	0,076
Tempo de secagem, h	7	7	7	7	7	7	7	7	7

\* secagem convencional em camada fixa, sem inversão de fluxo de ar.

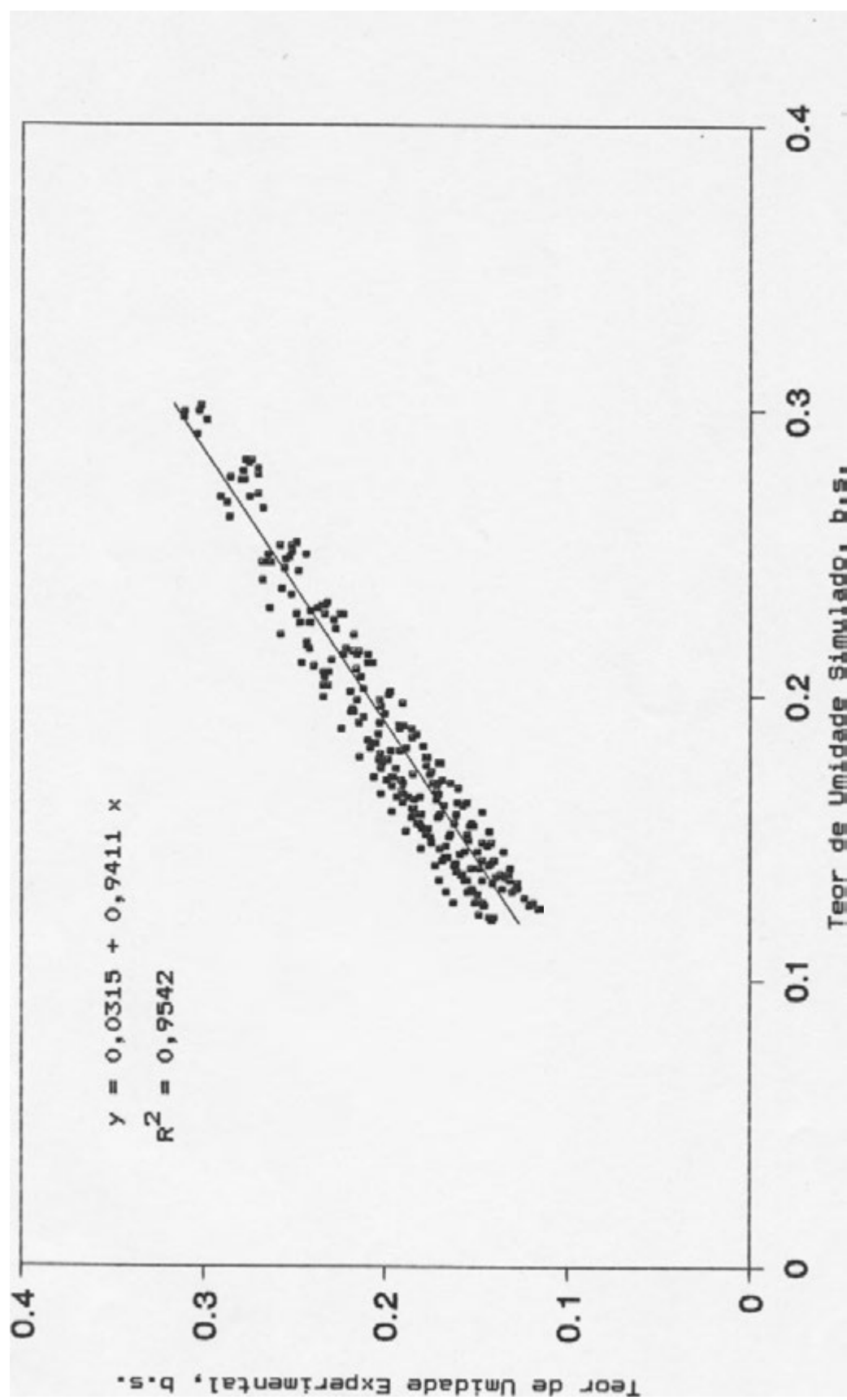


FIGURA 3 - Gráfico de Correspondência entre os Valores de Teores de Umidade, Experimentais e Simulados, para secagem a 50 °C.

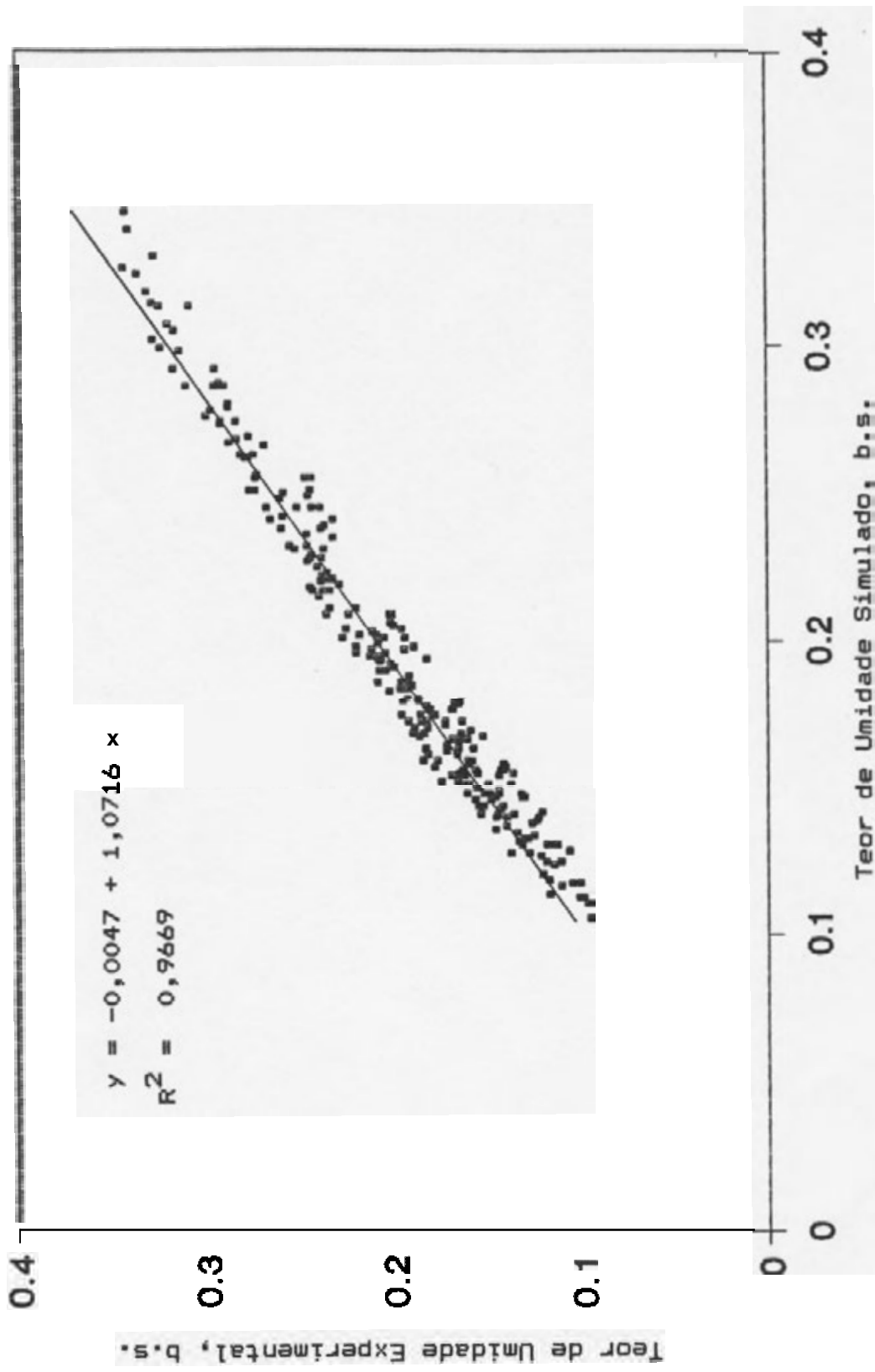


FIGURA 4 - Gráfico de Correspondência entre os Valores de Teores de Umidade, Experimentais e Simulados, para secagem a 70 °C.

respectivamente. As diferenças absolutas, média e máxima, entre os valores experimentais e simulados, para temperatura de 50 °C, foram de 0,0203 e 0,0440 ponto decimal, b.s., ao passo que, para temperatura de 70 °C, estas diferenças foram de 0,0142 e 0,0369 ponto decimal, b.s..

Nota-se, tanto para a temperatura de 50 °C quanto para 70 °C, uma tendência do modelo em superestimar a secagem. A simulação da secagem a 70 °C conduziu a melhores resultados que os da simulação a 50 °C. Isto deve-se ao fato de os grãos, na secagem a 70 °C, terem sido submetidos, por quase todo o período de secagem, a valores de temperatura compreendidos entre 40 e 80 °C, valores utilizadas na obtenção da equação de secagem em camada fina. Na secagem a 50 °C, parte dos grãos ficam submetidos por longo período de tempo a temperaturas inferiores a 40 °C.

A reta de mínimos quadrados que se ajusta ao conjunto de valores de teores de umidade simulados e experimentais, tem a seguinte equação, com coeficiente de correlação igual a 0,9503:

$$U_{exp} = 0,9805 U_{sim} + 0,0209$$

em que:

$U_{exp}$  - teor de umidade experimental, decimal, b.s.

$U_{sim}$  - teor de umidade simulada, decimal, b.s.

Nas Figuras 5 e 6 vêem-se os gráficos de correspondência entre os valores de temperatura de bulbo seco da ar de secagem, obtidos a cada 0,15 m a partir do início da camada de grãos e os valores simulados, para temperaturas de 50 e 70 °C, respectivamente. As diferenças absolutas, média

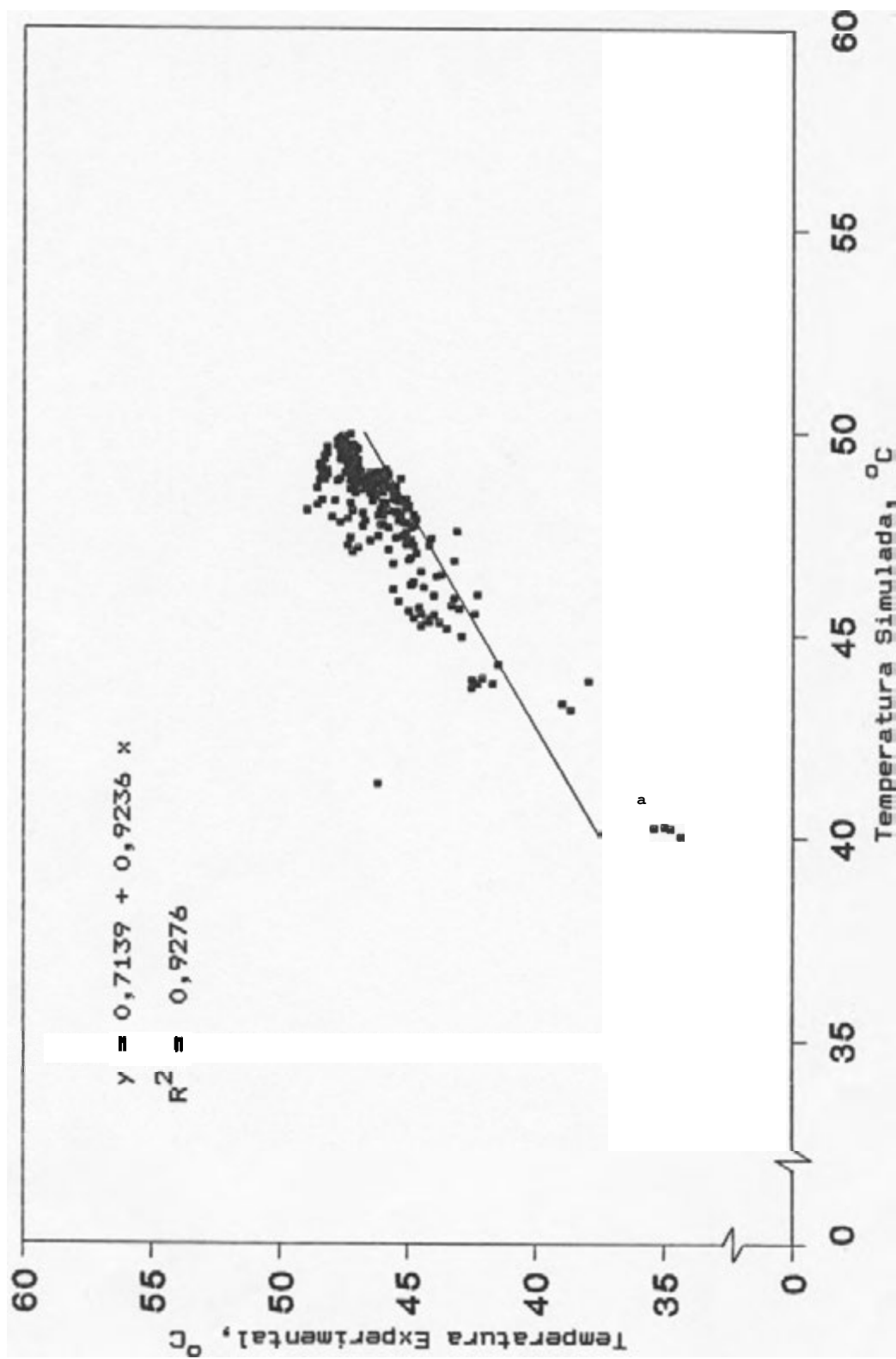


FIGURA 5 - Gráfico de Correspondência entre os Valores de Temperaturas, Experimentais e Simuladas, para Secagem a 50 °C.

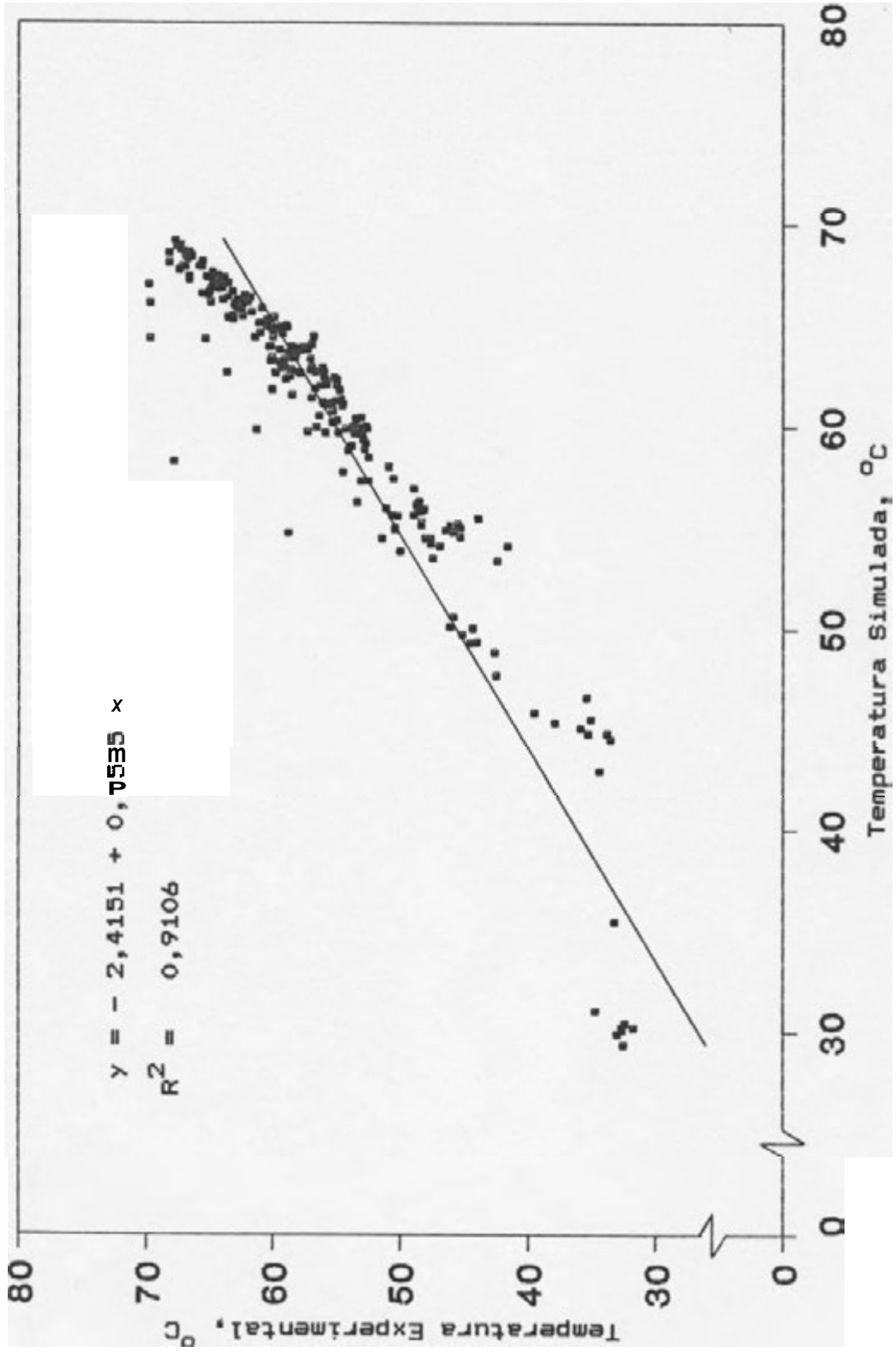


FIGURA 6 - Gráfico de Correspondência entre os Valores de Temperaturas, Experimentais e Simuladas, para Secagem a 70 °C.

e máxima, para secagem a 50 °C, foram de 2,8 e 8,1 °C, ao passo que, para secagem a 70 °C, estas diferenças foram de 5,1 e 12,4 °C, respectivamente.

Os maiores desvios ocorreram na primeira hora de secagem, nos pontos localizados a 0,30 e 0,45 m do início da camada de grãos. Em ambos os casos, nota-se que o modelo superestima os valores de temperatura obtidos experimentalmente.

Na Figura 7 vê-se o gráfico de correspondência entre os valores de gradientes de teor de umidade final, simulados e experimentais, para todos os testes realizados. As diferenças absolutas, média e máxima, entre os valores experimentais e simulados, foram de 0,0235 e 0,0385 ponto decimal, b.s., respectivamente.

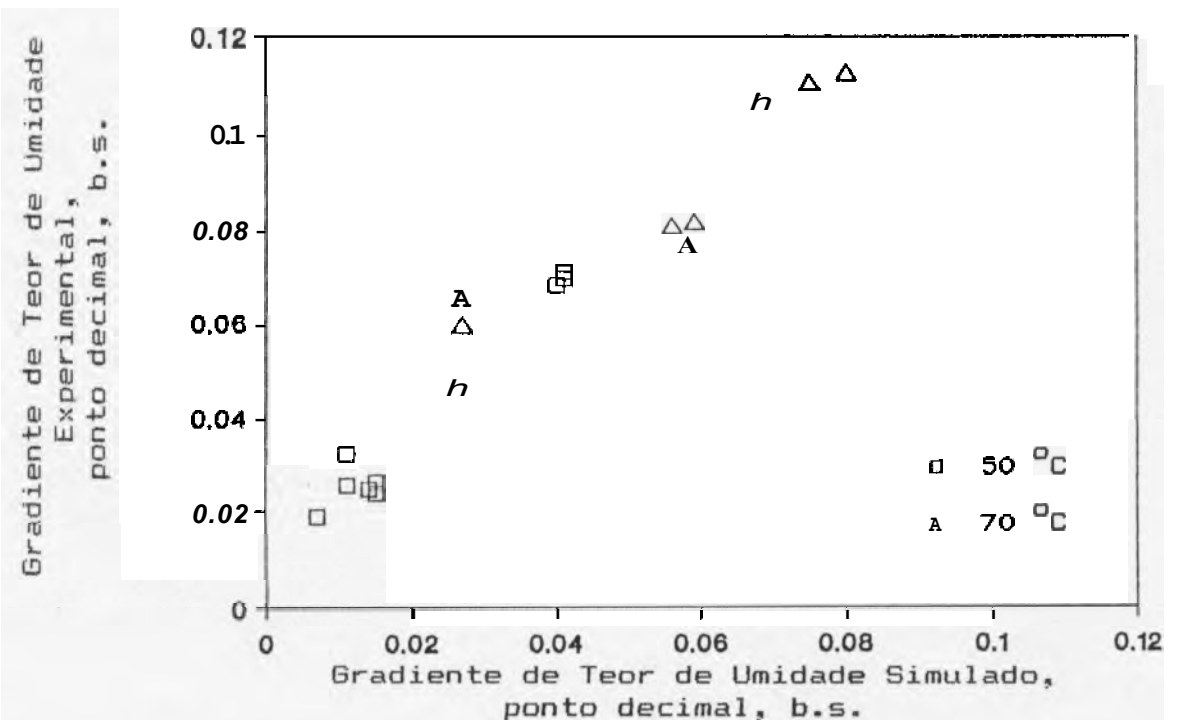


FIGURA 7 - Gráfico de Correspondência entre os Valores de Gradientes de Teor de Umidade Final, para Temperaturas de Secagem de 50 e 70 °C.

As diferenças absolutas, médias e máximas, entre os valores experimentais e simulados de teor de umidade e de temperatura foram consideradas aceitáveis para fins de engenharia. Portanto, pode-se utilizar o programa de computador implementado, baseado no modelo de THOMPSON *et alii* (1968), na avaliação e otimização do processo de secagem de café, em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar.

As condições médias do ar ambiente e do grão, utilizadas na análise da influência da temperatura e do intervalo de tempo para inversão do fluxo de ar sobre o consumo específico de energia, utilizando-se o modelo implementado, são apresentadas no Quadro 6. As condições de temperatura, fluxo de ar e intervalo de tempo para inversão do fluxo de ar de secagem, encontram-se no Quadro 7.

Conduziram-se simulações de secagem, num total de 12 combinações, cujos resultados são apresentados no Quadro 8, visando a identificar as melhores combinações com relação ao consumo específico de energia e tempo de secagem.

Os resultados apresentados no Quadro 8, mostram que na secagem a 50 °C, a inversão do fluxo de ar a intervalos de 3, 4 e 6 horas, representou aumento no consumo específico de energia de 3,1; 2,3 e 1,5%, respectivamente, em relação à secagem convencional. Para secagem a 60 °C, estes valores foram 3,2; 2,5 e 1,0% e, para 70 °C, os aumentos foram de 3,7; 1,9 e 0,3%. Para uma mesma temperatura de secagem, o consumo específico de energia diminui com o aumento do intervalo de tempo para inversão. Porém, em termos práticos, consideram-se desprezíveis os aumentos no consumo



QUADRO 6 - Condições Médias do Ar Ambiente e do Grao, para Avaliação do Consumo Específico de Energia, Utilizando-se o Programa de Simulação Implementado

. Ar ambiente\*

Temperatura, °C:	15,8
Umidade relativa, % :	82,0

. Produto

Teor de umidade inicial, b.s.:	0,3333
Teor de umidade final, b.s.:	0,1494
Temperatura inicial, °C:	15,8

\* Fonte: Estação Meteorológica Principal de Viçosa  
 Período: 1931 a 1960  
 Meses: maio, junho e julho

QUADRO 7 - Condições de Temperatura, Fluxo de Ar de Secagem e Intervalo de Tempo para Inversão do Fluxo de Ar, Utilizadas na Simulação de Secagem de Café, em Camada Fixa.

Temperatura (°C)			Fluxo de ar (m <sup>3</sup> min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	Intervalo de tempo para inversão (h)		
50	60	70	15	*	3	4 6

\* secagem convencional, sem inversão de fluxo de ar

QUADRO 8 - Consumo Específico de Energia, Tempo de Secagem e Gradiente Final de Teor de Umidade, para as Condições de Secagem Estabelecidas nos Quadros 6 e 7

Temperatura de secagem, °C	X	50	50	50	50	60	60	60	0	0	50	50	50	50
Intervalo de tempo para inversão, h	- *	3	4	6	- *	3	4	6	- *	M	4	4	6	6
Consumo específico de energia, kJ kg <sup>-1</sup>		9150	9438	9360	9286	8015	8217	8097	8275	8217	8097	8217	8275	8217
Tempo de secagem, h		12,66	13,06	12,95	12,85	8,58	8,86	8,80	8,67	6,24	6,47	6,36	6,26	6,26
Gradiente final de teor de umidade, ponto decimal, b.s.		0,0408	0,0114	0,0153	0,0134	0,0549	0,0232	0,0185	0,0321	0,0715	0,0241	0,0331	0,0684	0,0684

\* secagem convencional, em camada fixa, sem inversão de fluxo de ar

especifico de energia, ao se promover a inversão periódica do fluxo de ar durante a secagem em camada fixa.

Para secagem a  $50^{\circ}\text{C}$ , a inversão do fluxo de ar a intervalos de 3, 4 e 6 horas, representou redução no gradiente final de teor de umidade de 72, 63 e 67%, respectivamente. Para secagem a  $60^{\circ}\text{C}$ , estes valores foram 58, 66 e 42% e, para  $70^{\circ}\text{C}$ , as reduções foram de 66, 54 e 4%.

Para secagem a  $70^{\circ}\text{C}$ , a inversão do fluxo de ar a intervalos de 6 horas não apresentou diferenças em relação à secagem convencional devido ao fato de a inversão ter ocorrido a apenas 0,27 horas do fim da secagem.

Observa-se que a secagem com inversão, para uma mesma altura de camada, apresenta vantagem sobre a convencional quanto à uniformidade do teor de umidade final. O consumo específico de energia e o tempo de secagem não se alteram, ao se mudar de um sistema para outro. Observa-se também que não existe apenas uma combinação que possa ser considerada a melhor sob todos os aspectos de avaliação considerados, reforçando as afirmações de SABBAH *et alii* (1977), DAVILA *et alii* (1983) e DLIVEROS TASCON 1619843, que relataram que determinadas combinações indicam alternativas diferentes, dependendo do compromisso que se faz entre os parâmetros de avaliação.

Com o objetivo de avaliar o efeito da inversão do fluxo de ar sobre as curvas de secagem, apresentam-se, nas Figuras 8, 9 e 10, as curvas de secagem obtidas experimentalmente para temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ . Nas Figuras 11, 12 e 13, encontram-se as curvas de secagem para temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ . Para cada temperatura, foram analisados dois níveis

de intervalo de tempo para inversão, 3 e 6 horas, além da secagem sem inversão, tendo sido escolhidos os testes que apresentaram parâmetros de secagem semelhantes.

Na secagem convencional a 50 °C (Figura 8), os grãos localizados na primeira subcamada, atingiram teor de umidade médio de 0,1628 b.s., após 8,6 horas de secagem, enquanto que aqueles na segunda subcamada levaram aproximadamente 12,4 horas para atingirem o mesmo teor de umidade. Após 14,6 horas de secagem, os grãos na última subcamada ainda encontravam-se com teor de umidade médio de 0,1966 b.s., enquanto que os da primeira subcamada tiveram o teor de umidade reduzido a 0,1245 b.s.. O gradiente final de teor de umidade foi de 0,0721 ponto decimal, b.s..

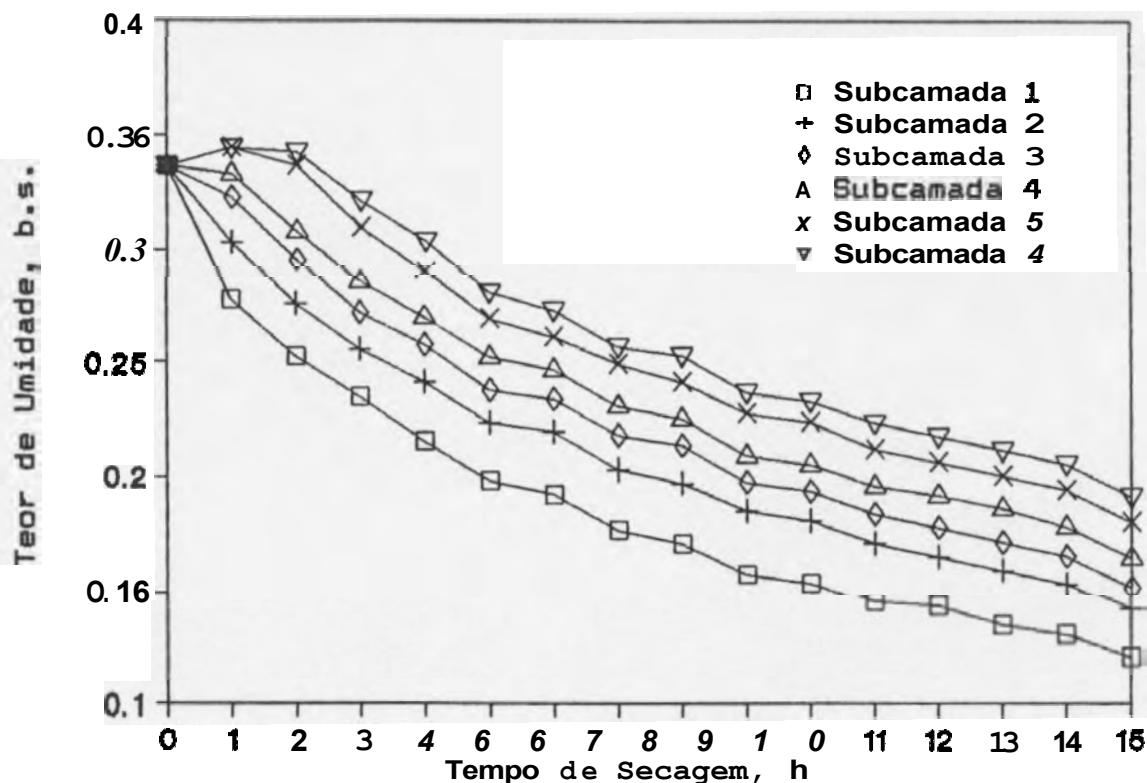


FIGURA 8 - Curvas de Secagem Experimentais para as Condições do Teste 2.

Invertendo-se o fluxo de ar a intervalos de 3 horas, utilizando-se condições semelhantes do ar de secagem (Figura 9), notou-se uma melhoria na uniformidade da taxa de secagem entre as seis subcamadas. Após 16 horas de secagem, os grãos localizados na primeira subcamada encontravam-se com teor de umidade de 0,1468 b.s.; aqueles na última subcamada apresentavam teor de umidade de 0,1562 b.s., e os grãos das subcamadas intermediárias apresentavam teor de umidade medio de 0,1696 b.s.. O gradiente final de teor de umidade foi de 0,0254 ponto decimal, b.s., havendo, portanto, uma redução de 65% em relação ao gradiente obtida na secagem convencional.

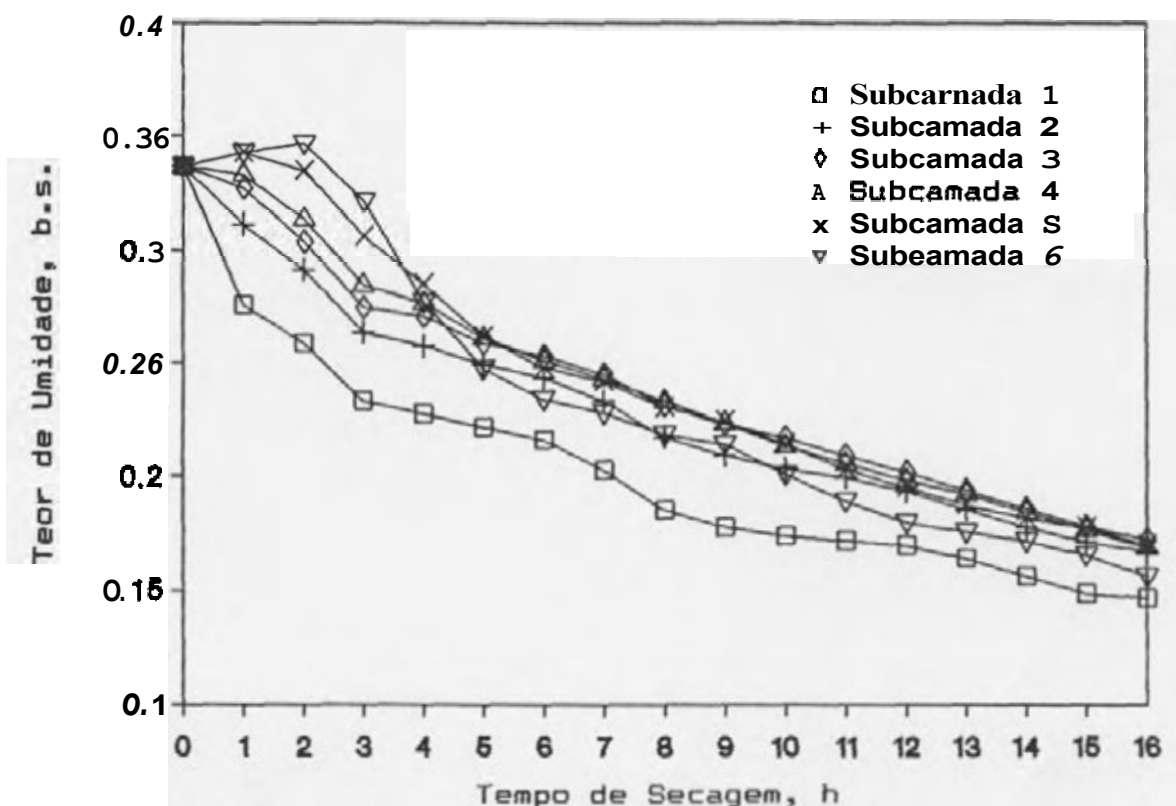


FIGURA 9 - Curvas de Secagem Experimentais para as Condições do Teste 6.

Invertendo-se o fluxo de ar a intervalos de 6 horas (Figura 10), notou-se uma acentuada convergência das curvas de secagem após a inversão. Os grãos localizados na primeira subcamada atingiram, após 13,7 horas de secagem, teor de umidade médio de 0,1628 b.s.. Após 16,8 horas de secagem, quando o teor de umidade médio da camada havia sido reduzido a 0,1628, decimal, b.s., os grãos localizados na primeira subcamada encontravam-se com teor de umidade de 0,1460 b.s., enquanto que aqueles localizados nas subcamadas 5 e 6 ainda apresentavam teor de umidade médio de 0,1699 b.s.. O gradiente de teor de umidade foi de 0,0240 ponto decimal, b.s., não havendo, portanto, diferença em relação à inversão do fluxo de ar a intervalos de 3 horas.

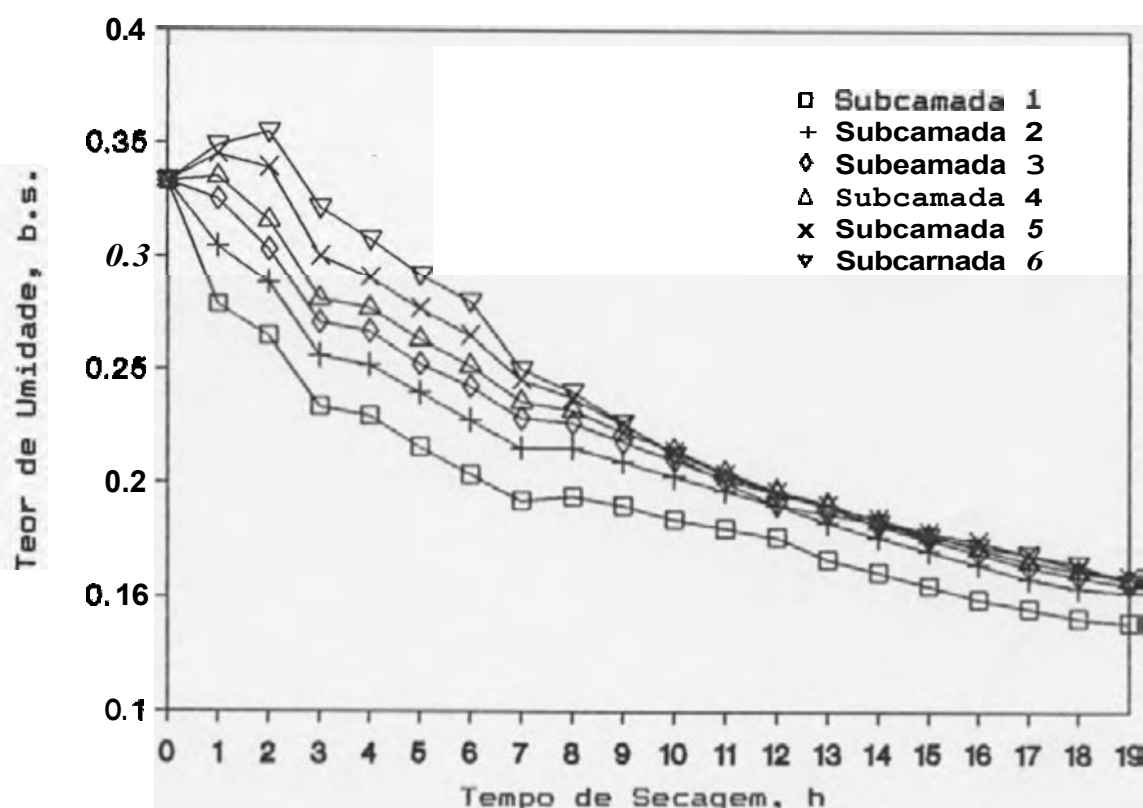


FIGURA 10 - Curvas de Secagem Experimentais para as Condições do Teste 7.

Na secagem convencional a  $70^{\circ}\text{C}$  (Figura 11), após 7 horas de secagem, quando o teor de umidade médio da camada havia sido reduzido a 0,1509 b.s., os grãos na primeira subcamada apresentavam teor de umidade de 0,0997 b.s., enquanto que os grãos mais úmidos da camada, localizadas na subcamada 6, ainda apresentavam teor de umidade de 0,2114 b.s.. O gradiente final de teor de umidade foi de 0,1117 ponto decimal, b.s..

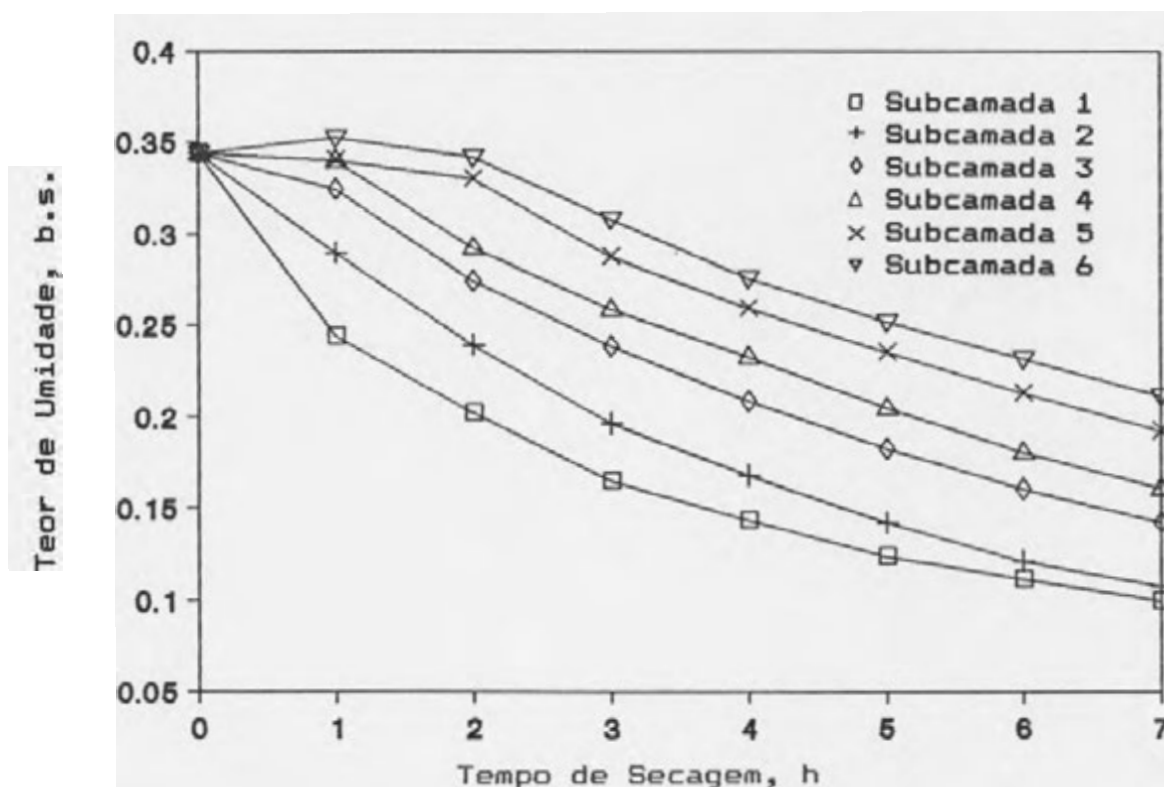


FIGURA 11 - Curvas de Secagem Experimentais para as Condições do Teste 10.

Ao se promover a inversão do fluxo de ar a intervalos de 3 horas (Figura 12), ocorreu uma acentuada elevação na taxa de secagem dos grãos localizados na subcamada 6, logo após a primeira inversão. Quando haviam decorrido 5

horas de secagem, observou-se a ocorrência de reumidecimento dos grãos localizados nas subcamadas I e 2. Após 7,5 horas de secagem, quando o teor de umidade médio da camada era de 0,1494 b.s., os grãos na primeira subcamada tiveram o teor de umidade reduzido a 0,1148 b.s., enquanto que os grãos localizados na subcamada 5 apresentavam teor de umidade de 0,1700 b.s.. O gradiente de teor de umidade final foi de 0,0552 ponto decimal, b.s., havendo, portanto, uma redução de 50% em relação ao gradiente obtido na secagem convencional. Apesar da redução no gradiente final de teor de umidade, ao se promover a inversão de fluxo de ar a intervalos de 3 horas, o produto continua apresentando uma desuniformidade acentuada, podendo vir a comprometer a qualidade de bebida após a torração.

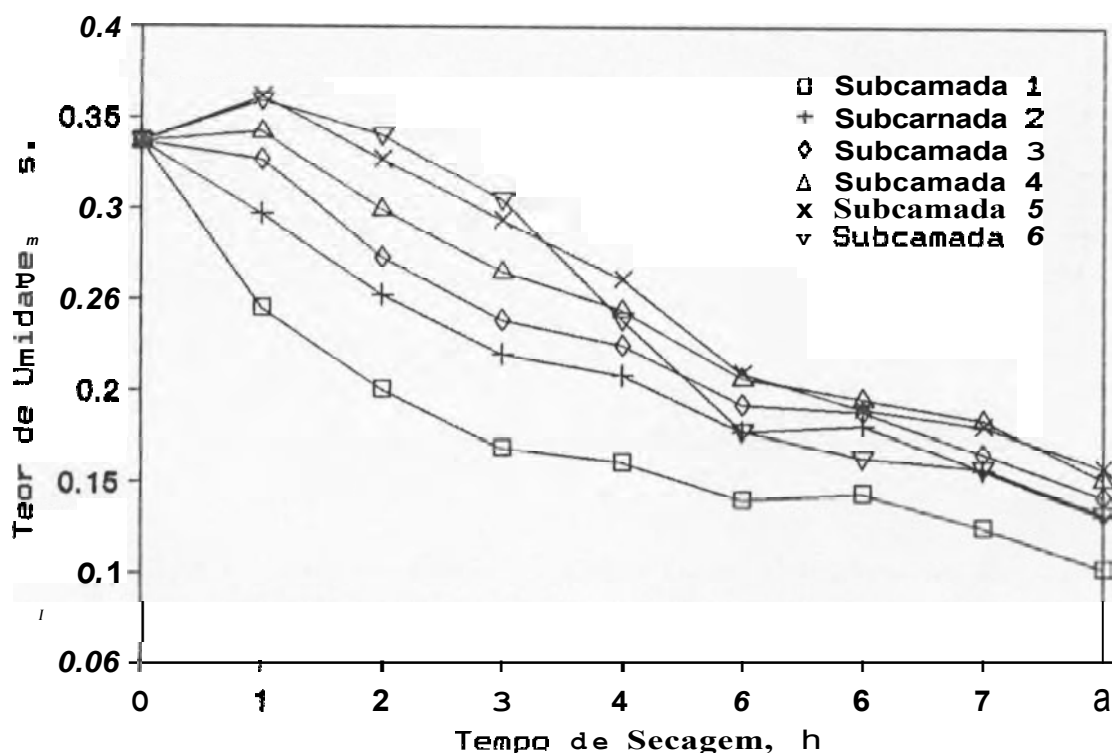


FIGURA 12 - Curvas de Secagem Experimentais para as Condições do Teste 13.



Na secagem a  $70^{\circ}\text{C}$ , a inversão do fluxo de ar a intervalos de 6 horas (Figura 13), não promoveu redução significativa no gradiente final de teor de umidade, em relação à secagem convencional, devido ao fato de a inversão ter ocorrido a apenas 0,6 horas do fim da secagem. Após 6,6 hora5 de secagem, quando o teor de umidade medio da camada era de 0,1494 b.s., o gradiente de teor de umidade era de 0,0944 ponto decimal, b.s., tendo ocorrido uma redução de aproximadamente 15% em relação à secagem convencional.

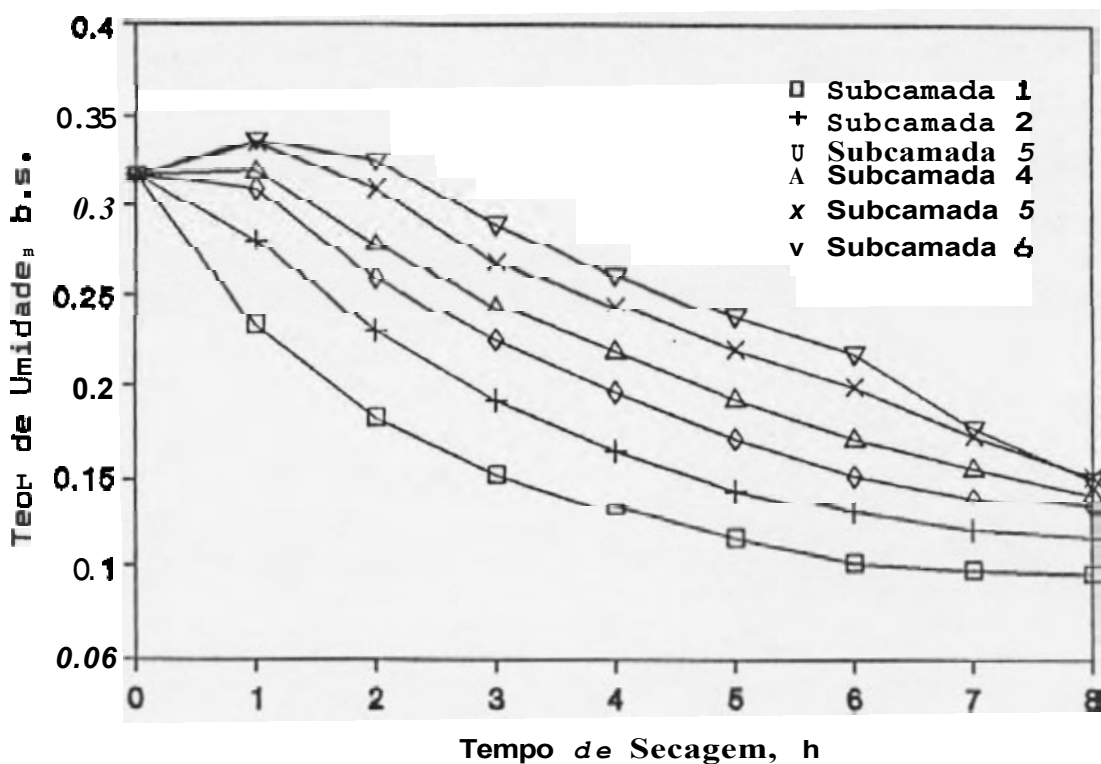


FIGURA 13 - Curvas de Secagem Experimentais para as Condições do Teste 16.

Observou-se, tanto para secagem a  $50^{\circ}\text{C}$  como para  $70^{\circ}\text{C}$ , a ocorrência de reumidecimento, durante as primeiras horas de secagem, das grãos localizados a partir de 0,60 m

da *início* da camada. Verificou-se também que, na secagem a  $50^{\circ}\text{C}$ , não houve diferença acentuada no perfil de umidade final, ao se comparar os dois níveis de intervalo de tempo para inversão do fluxo de ar. Na seragem a  $70^{\circ}\text{C}$ , para todos os 5 testes realizados, verificou-se uma supersecagem dos grãos localizados no início da camada, resultando em maior variação no perfil de umidade final.

Para avaliação do efeito da inversão do fluxo de ar sobre a temperatura do ar de secagem em diversos pontos da camada, apresentam-se, nas Figuras 14 e 15, as curvas de temperatura obtidas experimentalmente para secagem a  $50^{\circ}\text{C}$ . Nas Figuras 16 e 17, encontram-se as curvas de temperatura para secagem a  $70^{\circ}\text{C}$ . Para esta análise, foram escolhidos, pela mesma razão, os testes utilizados no estudo das curvas de secagem.

Na secagem convencional a  $50^{\circ}\text{C}$ , os grãos localizados a partir de 0,75 m do início da camada, ficaram expostos à temperaturas inferiores a  $40^{\circ}\text{C}$  por quase todo o período de secagem, como mostra a Figura 14. O mesmo não ocorreu na secagem convencional a  $70^{\circ}\text{C}$ , em que, após 4 horas de secagem, todo o produto se encontrava submetido a valores de temperatura entre  $40$  e  $70^{\circ}\text{C}$ , como mostra a Figura 16, portanto, dentro do intervalo utilizado na obtenção da equação de secagem em camada fina que integra o modelo matemático implementado.

Ao se promover a inversão do fluxo de ar a intervalos regulares de tempo, tanto para secagem a  $50^{\circ}\text{C}$  como a  $70^{\circ}\text{C}$ , observou-se que a temperatura do ar de secagem, em qualquer ponto da camada apresentava um comportamento

cíclico, caracterizado pela alternância entre valores altos e baixos. O período de cada ciclo é igual, a duas vezes o intervalo de tempo para inversão. R amplitude C variável e depende do tempo de secagem e da localização na carnada. As amplitudes máximas ocorrem nas extremidades e a mínima ocorre no ponto médio da carnada (Figuras 15 e 17). A alternância de temperaturas é responsável pela convergência das taxas de secagem e, conseqüentemente, pela maior uniformidade da teor de umidade final.

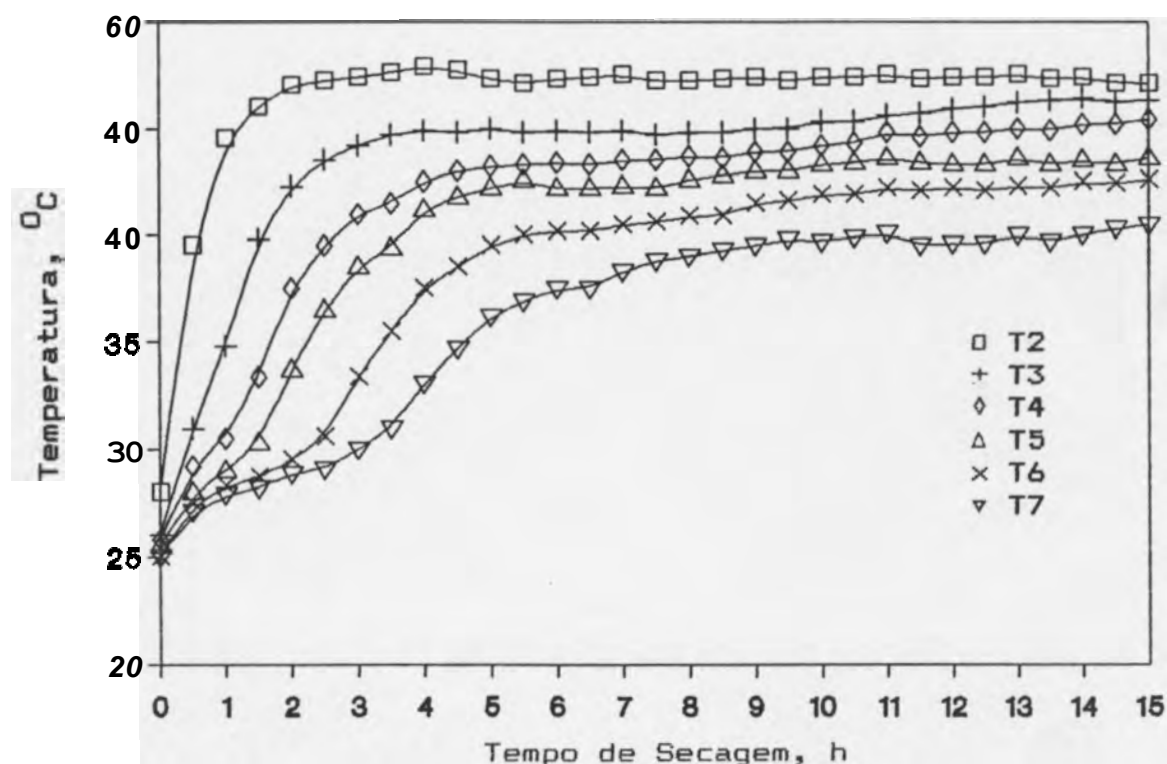
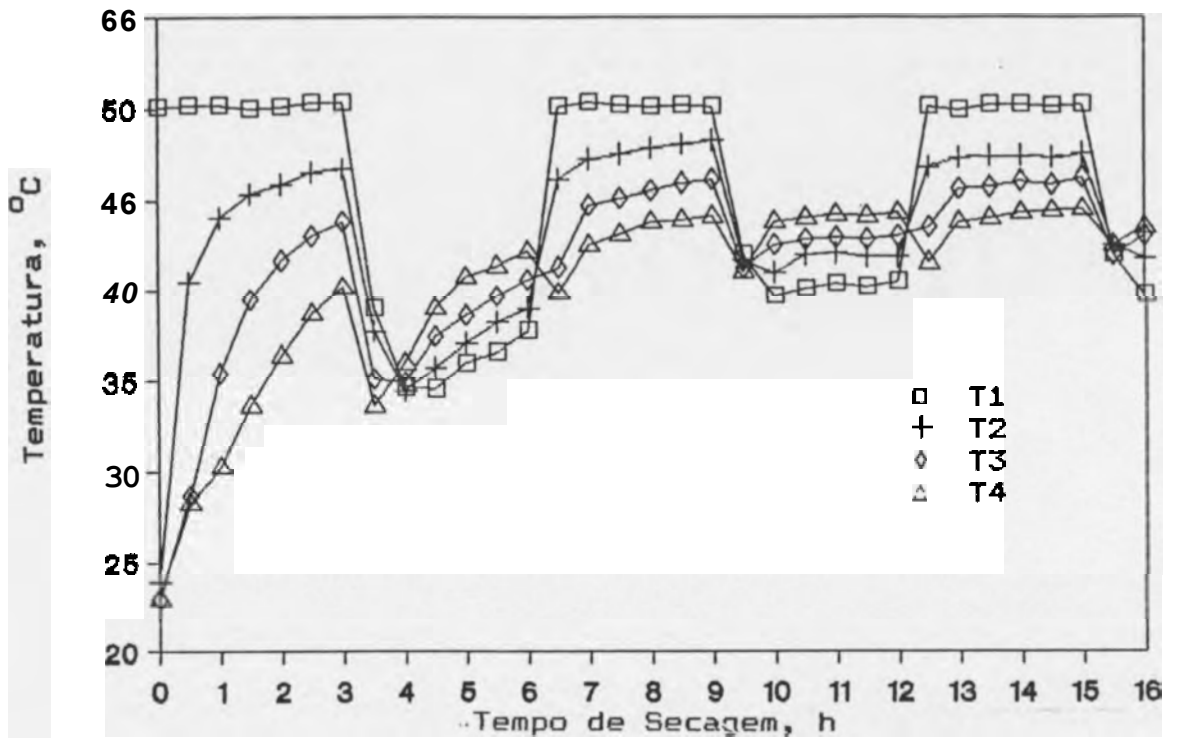
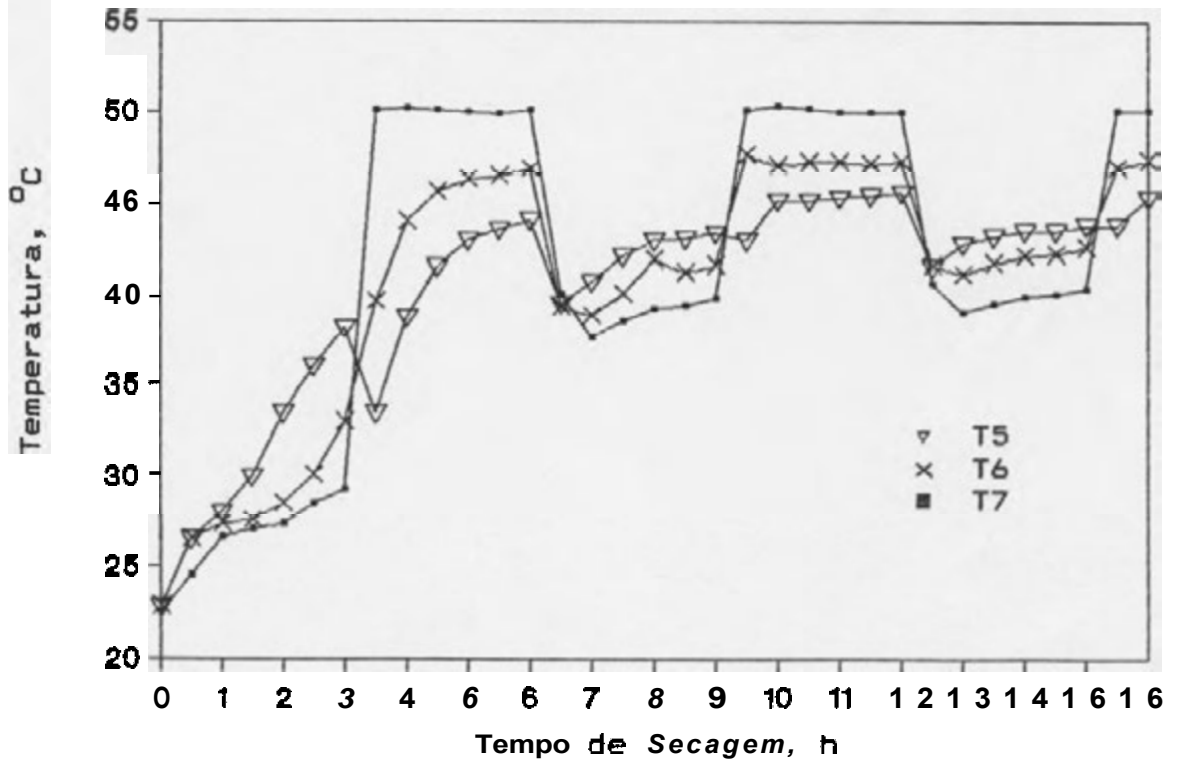


FIGURA 14 - Curvas das Temperaturas do Ar de Secagem para as Condições do Teste 2.



(a)



(b)

FIGURA 15 - Curvas das Temperaturas do Ar de Secagem para as Condições do Teste 6; (a) Pontos T1, T2, T3 e T4; (b) Pontos T5, T6 e T7.

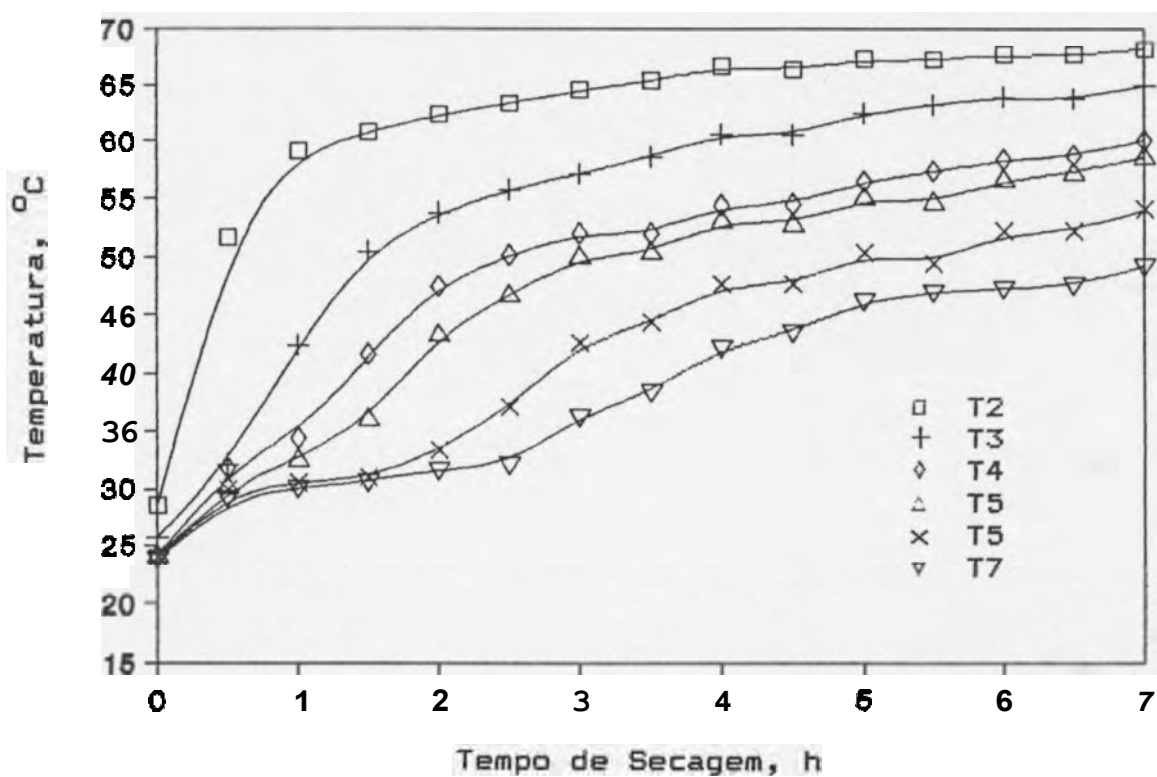
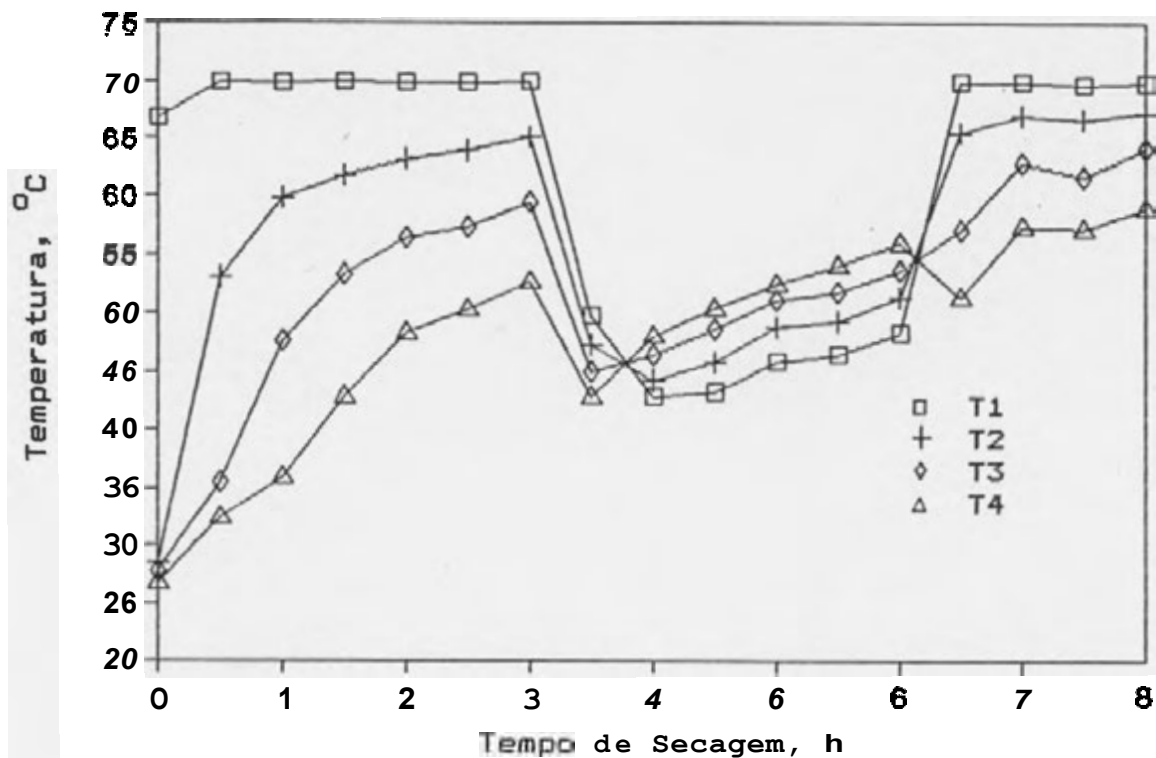
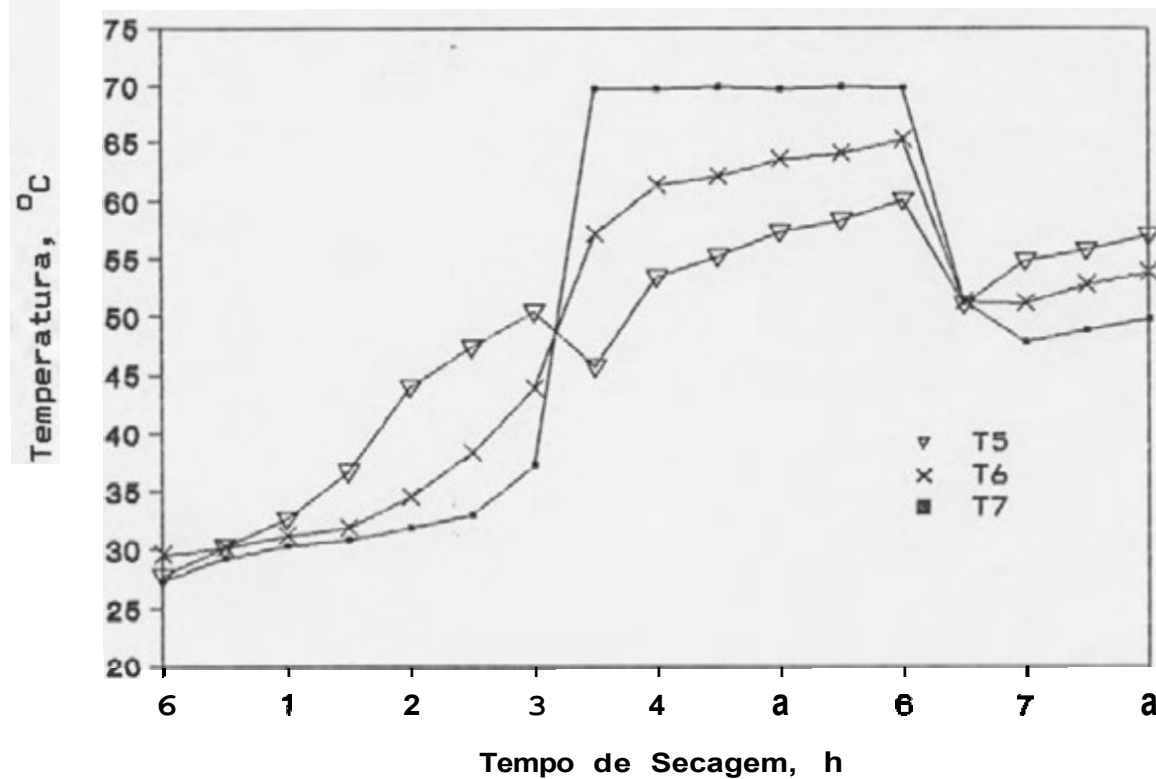


FIGURA 16 - Curvas das Temperaturas do Ar de Secagem para as Condições do Teste 10.



(a)



(b)

FIGURA 17 - Curvas das Temperaturas do Ar de Secagem para as Condições de teste 13; (a) Pontos T1, T2, T3 e T4; (b) Pontos T5, T6 e T7.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Desenvolveu-se um programa de simulação de secagem de café, em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar, a partir do modelo matemático proposto por THOMPSON *et alii* (1968). Para validação do modelo, foram realizados dezoito testes de secagem de café, variedade Catuai, utilizando-se dois níveis de temperatura do ar de secagem, 50 e 70 °C, um nível de fluxo de ar,  $15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e dois intervalos de tempo para inversão, 3 e 6 h, além da secagem convencional em camada fixa.

A secagem com inversão periódica do fluxo de ar, para uma mesma altura de camada, apresentou vantagem sobre a convencional quanto à uniformidade do teor de umidade final. O consumo específico de energia e o tempo de secagem não se alteraram, ao se mudar de um sistema para outro.

Para a temperatura de 50 °C, a massa de grãos apresentou maior uniformidade no teor de umidade final ao longo da camada, ao passo que, para a temperatura de 70 °C, verificou-se uma supersecagem dos grãos próximos à entrada da ar de secagem, resultando em maiores valores de gradiente de teor de umidade final.

Para secagem a  $50^{\circ}\text{C}$ , foram obtidos resultados semelhantes quanto à homogeneidade do teor de umidade final, eficiência e tempo de secagem, quando se utilizam intervalos de tempo de inversão de 3 e 6 horas. Para a temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , a inversão da fluxo de ar a intervalos de 6 horas não apresentou diferença, em relação à secagem convencional, devida ao fato de o tempo de secagem ter praticamente coincidido com o intervalo de tempo para inversão.

As diferenças absolutas, médias e máximas, entre os valores experimentais e simulados de teor de umidade, para temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , foram de 0,0203 e 0,0440 ponto decimal, b.s., ao passo que, para temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , estas diferenças foram de 0,0142 e 0,0369 ponto decimal, b.s., respectivamente. Notou-se, tanto para a temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  quanto para  $70^{\circ}\text{C}$ , uma tendência do modelo em superestimar a secagem.

As diferenças absolutas, médias e máximas, entre os valores experimentais e simulados de temperatura de bulbo seco da ar de secagem, obtidos a rda 0,15 m a partir do início da camada de grãos, para temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , foram de 2,8 e 8,1  $^{\circ}\text{C}$ , ao passo que, para secagem a  $70^{\circ}\text{C}$ , estas diferenças foram de 5,1 e 12,4  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Os maiores desvios ocorreram na primeira hora de secagem, nos pontos localizados a 0,30 e 0,45 m do início da camada de grãos. Em ambos os casos, notou-se que o modelo superestima os valores de temperatura obtidos experimentalmente.

As diferenças absolutas, medias e máximas, entre os valores experimentais e simulados de teor de umidade e de temperatura foram consideradas aceitáveis para fins de



engenharia. Conclui-se *que* o programa de computador implementado pode ser utilizado na avaliação e **otimização** da secagem de *café*, em camada fixa, com inversão de fluxo de ar.

## RIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- ARTEAGA, M.S. Modelación del proceso de secado. In: SEMINARIO DE SECADO SOLAR, 2, 1986, Cusco, Peru. Lima: Instituto General de Investigación, 1986. p. 51-6.
- BAKKER-ARKEMA, F.W.; LEREW, L.E.; DE BOER, S.F.; ROTH, M.C. *Grain dryer simulation - Research report from the Michigan State University*. East Lansing, MI, Michigan State University, 1974. 80p.
- BROOKER, D. E.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. *Drying cereal grains*. Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company, 1974. 265 p.
- CARVALHO, V.D. & CHALFOUN, S.M. Aspectos qualitativos do café. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 11(126):79-92, 1985.
- CLOUD, H.A. & MOREY, R.V. *Dryeration and in-storage cooling for corn drying - Research Report from the University of Minnesota*. St. Paul, Minnesota, University of Minnesota, 1980. 8 p.
- CHRISTENSEN, C.M. *Storage of cereal grains and their products*. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1974. 549 p.
- CORDEIRO, J.A.B. *Influência da temperatura e tempo de repouso na secagem de café (Coffea arabica L.) em camada fixa*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1982. 60 p. (Tese M.S.).
- DALPASQUALE, V.A., QUEIROZ, D.M., PEREIRA, J.A.M.; SINICIO, R. *Secagem de grãos em altas temperaturas*. Viçosa, MG, CENTREINAR, 1987. -
- DAVILA, S.I.; CHEN, L.H.; WELCH, G.B. Simulation model for reversing direction airflow drying of rough rice. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 26(6):1842-8, 1983.

- DORFMAN, E.; WIRTH, H.G. & MEJIA, G.R. Pré-secagem de café em barça com utilização de energia solar. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, 6(1):25-35, junho/1981.
- FERREIRA, G.B.; MAGALHÃES FILHO, A.A.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHALFOUN, S.M. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 14(162):33-4, 1989.
- GUIMARÃES, A.C.; QUEIROZ, D.M.; DONZELES, S. Simulação de secagem de café em secador de leito fixo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, Londrina, PR, 1991. *Anais ...*, Londrina, PR, IAPAR/SBEA, 1991. (no prelo).
- MOREY, R.V.; KEENER, H.M.; THOMPSON, T.L.; WHITE, G.M.; BAKKER-ARKEMA, F.W. *The present status of grain drying simulation*. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1978. 24 p. (Paper 78-3009).
- OLIVEROS TASCON, C.E. *Simulação de secagem de café em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1984. 64p. (Tese M.S.).
- OSORIO, A.G.S. *Projeto e construção de um secador intermitente de fluxo concorrente e sua avaliação na secagem de café*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1982. 57 p. (Tese M.S.).
- OSORIO, A.G.S.; SILVA, J.S.; DALPASQUALE, V.A.; OLIVEIRA, J.L. *Secagem de café em secadores de fluxo concorrente*. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 9(99):18-24, 1983.
- PAULSEN, M.R. & THOMPSON, T.L. Effects of reversing airflow in a crossflow grain dryer. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 16(3):541-5, 1973.
- PEREIRA, J.A.M. [Equações de Page para secagem de café em camada fina], Comunicação pessoal. Viçosa, MG, CENTREINAR, 1989.
- FIERCE, R.O. & THOMPSON, T.L. *Energy utilization and efficiency of crossflow grain dryer*. St. Joseph, Michigan, ASAE, 1975. 12 p. (Paper 75-3020).
- QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M.; MELO, E.C. *Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos*. Viçosa, MG, CENTREINAR, 1985. 59 p.
- SABBAH, M.A.; MEYER, G.E.; KEENER, H.M.; ROLLER, W.L. Reversed direction-air-flow drying for soybean seed. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 20(4):562-70, 1977.
- \_\_\_\_\_. Simulation studies of reversed-direction air-flow drying method for soybean seed in a fixed bed. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 22(5):1162-1166, 1979.

SABIONI, P.M. *Projeto e avaliação de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar, na secagem de milho (Zea mays L.)*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1986. 106 p. (Tese M.S.).

SILVA, J.S. [Equação da massa específica aparente do café em função do teor de umidade], Comunicação pessoal. Viçosa, MG; Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, 1990.

SILVA, L.C. *Desenvolvimento e avaliação de um secador de café (Coffea arabica L.) intermitente de fluxos contracorrentes*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1991. 74p. (Tese M.S.).

SINHA, R.N. & MUIR, W.E. *Grain storage: Part of a system*. Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company, 1973. 487p.

SIVETZ, M. *Coffee processing technology - Aromatization, properties, brewing, decaffeination, plant design*. Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company, 1963. v.2.

THOMPSON, T.L.; PEART, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying. A new model. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 12(5):685-9, 1968.

---

## APENDICES

## APENDICE A

### LISTAGEM DO PROGRAMA DE COMPUTADOR IMPLEMENTADO

```
program THOMPSON; {Este programa simula secagem de cafe, em
                  camada fixa, com inversao de sentido de
                  fluxo de ar, utilizando o modelo propos-
                  to por Thompson et alii}
```

```
{Programa elaborado por: Daniel Marcal de Queiroz
                        Pedro Amorim Berbert}
```

```
Departamento de Engenharia Agricola
Universidade Federal de Vicosa
Vicosa - MG - abril de 1991}
```

```
 {$N+}
uses CRT, PRINTER;
```

```
const dim = 36;
type matriz = array [1..dim] of real;
```

```
var u,tg,t,ru,urar,umini,uq,tgq,umed : matriz;
    posicao,posicaoq : matriz;
    u0,ui0,tg0,tamb,ruamb,ru0,tsec,gar0,xtotal : real;
    ttotal,deltt,timp,ue,uf,tf,tgf,ruf,ga,deltx : real;
    tpar,ur,itpi,tmin,r,teq,tgi,t0,ui,tinverte : real;
    eff,ur8,tzero,grad,deltmin,minuto,teste : real;
    ufinal,teor,ufm,umax,umin : real;
    i,k,ntotal,hora,pareflag,numero,trocagav : integer;
    key : char;
```

```
function VESP (ta,rma: real): real;
{Calcula volume especifico.
 Entrada: temperatura e razao de mistura}
```

```
var pv: real;
```

```
begin
    pv:=rma*101325.0/(0.622+rma);
    vesp:=287*(ta+273.16)/(101325.0-pv);
end;
```

```
function PVSF (tabs: real): real;
{Calcula a pressão de vapor de saturação.
Entrada: temperatura absoluta}
```

```
var x: real;
```

```
begin
  x:=-7511.52/(tabs)+89.63121+0.02399897*tabs;
  x:=x-12.150799*ln(tabs)+2.0998405E-11*exp(4*ln(tabs));
  x:=x-1.1654551E-5*tabs*tabs;
  pvsf:=exp(x-1.2810336E-8*exp(3*ln(tabs)))/0.1333;
end;
```

```
function RMIS (ta,ura: real): real;
{Calcula razão da mistura.
Entrada: temperatura e umidade relativa}
```

```
var pv1: real;
```

```
begin
  pv1:=pvsf(ta+273.16)*ura/100;
  rmis:=0.622*pv1/(760-pv1);
end;
```

```
function UREL(ta,rma1: real): real;
{Calcula a umidade relativa.
Entrada: temperatura e razão da mistura}
```

```
var pv3: real;
```

```
begin
  pv3:=rma1*760.0/(0.622+rma1);
  urel:=pv3/pvsf(ta+273.16)*100.0;
end;
```

```
procedure CORRIGE (var tf,ruf,uf,tgf,cp,r : real);
```

```
var t1,rm1,h1,pvsat,rm2,t2,ur1,ur2,t3,rm3,ur3 : real;
    nvezes,jflag : integer;
```

```
begin
  t1:=tf; rm1:=ruf; h1:=0.24*t1+rm1*(588.0+0.45*t1);
  nvezes:=0;
  pvsat:=PVSF(t1+273.16);
  rm2:=0.622*pvsat/(760.0-pvsat);
  t2:=(h1+(rm2-rm1)*t1+cp*r*(1+uf)*t1-rm2*588);
  t2:=t2/(0.24+rm2*0.45+cp*r*(1+uf));
  ur1:=UREL(t1,rm1); ur2:=UREL(t2,rm2);
  repeat
    nvezes:=nvezes+1; t3:=t1-(ur1-100)/(ur1-ur2)*(t1-t2);
    rm3:=(h1-rm1*t1+cp*r*(1+uf)*(t1-t3)-0.24*t3);
    rm3:=rm3/(-t1+588+0.45*t3); ur3:=UREL(t3,rm3);
  until jflag=1;
```



```

begin
  ur1:=ur3; h1:=0.24*t3+(588.0+0.45*t3)*rm3;
  rm1:=rm3; t1:=t3; jflag:=0;
end;
if (ur3 < 99) then
begin
  ur2:=ur3; rm2:=rm3; t2:=t3; jflag:=0;
end;
if (nvezes > 100) then jflag:=1;
until (jflag = 1 );
uf:=uf-(rm3-ruf)/r; tf:=t3; tgf:=t3; ruf:=rm3;
end;

```

```

procedure DELGADA (var tg0,u0,cp,r,te,tf,ruf : real;
  var tgf,uf,ur,teor,deltt : real);

```

```

var ue,xmr,a1,a2,a3,duu,teq,teabs,dhfg,ativ : real;

```

```

begin
  ue:=1.1282*exp(0.5405*ln(-ln(1-0.01*ur)/(te+40.535)));
  xmr:=(u0-ue)/(teor-ue);
  if (teor > 0.38889) then
begin
  a1:=0.73681; a2:=173705; a3:=5533.11;
end
else
begin
  a1:=0.605604; a2:=105.756; a3:=2751.53;
end;
duu := 0.0;
if (xmr > 1 ) then
begin
  xmr:=1; duu:=u0-teor;
end;
if (xmr > 0 ) then
begin
  if xmr <> 1 then teq:=exp((1/a1)*ln(-ln(xmr)/
    (a2*exp(-a3/(te+273.16))))) /60;
  if xmr = 1 then teq:=0.0;
  teq:=teq+deltt;
  uf:=(teor+duu-ue)*exp(-a2*exp(a1*ln(60*teq))*
    exp(-a3/(te+273.16)))+ue;
end;
if (xmr <= 0 ) then uf:= u0;
ruf:=ru0+r*(u0-uf);
ativ:=1-exp(-0.8*(te+40.535)*exp(1.85*ln(u0)));
teabs:=te+273.16;
dhfg:=0.088*teabs*teabs*exp(1.85*ln(u0))*(-1+1/ativ);
tf:=(0.24+0.45*ru0)*te-(ruf-ru0)*(588+dhfg-te)+
  (cp*r*(1+u0)*te);
tf:=tf/(0.24+0.45*ruf+cp*r*(1+u0)); tgf:=tf;
ur:=UREL(tf,ruf);
end;

```

```

procedure CAMADA (var i                : integer;
                  var t0,ru0,ui,r,deltx,ga,deltt: real;
                  var u,tg,umini,ru,t,urar    : matriz);
var tg0,u0,cp,te,tf,ruf,tgf,uf,ur,teor : real;

```

```

begin
  tg0:=tg[i]; u0:=u[i]; cp:=0.4+0.6*u0/(1.0+u0);
  te:= ((0.24+0.45*ru0)*t0+cp*r*(1.0+u0)*tg0)/
        (0.24+0.45*ru0+cp*r*(1+u0));
  tf:=te; ruf:=ru0; tgf:=te; uf:=u0;
  ur:= UREL(tf,ruf); teor:=umini[i];
  if (ur < 99.99) then
    DELGADA (tg0,u0,cp,r,te,tf,ruf,tgf,uf,ur,teor,deltt);
  if (ur > 100.00) then
    CORRIGE (tf,ruf,uf,tgf,cp,r);
  tg[i]:=tf; u[i]:=uf; ru[i]:=ruf; t[i]:=tf;
  t0:=tf; ru0:=ruf; urar[i]:= urel(tf,ruf);
end;

```

```

procedure VIDEO;
begin
  clrscr; writeln;
  write ('                                TESTE DE NUMERO:');
  writeln (TESTE:3:0); writeln;
  if (hora <= 1) and (minuto < 1) then
    begin
      write ('                T E M P O   D E   S E C A G E M: ');
      write (hora:3);
      writeln (' hora e ',minuto:4:1,' minuto');
    end;
  if (hora <= 1) and (minuto >= 1) then
    begin
      write ('                T E M P O   D E   S E C A G E M: ');
      write (hora:3);
      writeln (' hora e ',minuto:4:1,' minutos');
    end;
  if (hora > 1) and (minuto < 1) then
    begin
      write ('                T E M P O   D E   S E C A G E M: ');
      write (hora:3);
      writeln(' horas e ',minuto:4:1,' minuto');
    end;
  if (hora > 1) and (minuto >= 1) then
    begin
      write ('                T E M P O   D E   S E C A G E M: ');
      write (hora:3);
      writeln (' horas e ',minuto:4:1,' minutos');
    end;
  writeln;
  write ('*****');
  write (' R E S U L T A D O S ');
  writeln ('*****');
  write ('posicao   umidade do grao');
  write ('   temperatura do grao   ');
  writeln ('temp. do ar   umid. rel. ');
  write (' (m)                (% b.u.)                (oC)');

```

```

writeln ('          (oC)          (%)');
trocagav:=numero MOD 2;
for i:=1 to ntotal do posicao[i]:=deltx*i;
if (trocagav = 0) then
  begin
    i:=1;
    write (posicao[i]:5:2,'          ');
    write (u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
    write ('          ',tg[i]:6:2);
    write ('          ',t[i]:6:2);
    writeln ('          ',urar[i]:6:2);
    i:=6;
    while i <= ntotal do
      write (posicao[i]:5:2,'          ');
      write (u[i]*100/(1+u[i]):6:2,'          ');
      write (tg[i]:6:2,'          ',t[i]:6:2);
      writeln ('          ',urar[i]:6:2);
      i:=i+6;
    end;
    writeln;
    write ('          TEOR DE UMIDADE MEDIO');
    writeln (' DAS SUBCAMADAS, % b.u..');
    write (' SUBCAM 1 SUBCAM 2 SUBCAM 3 ');
    writeln ('SUBCAM 4 SUBCAM 5 SUBCAM 6');
    write (' ',umed[1]:7:2,'          ',umed[2]:7:2,'          ');
    write (umed[3]:7:2,'          ',umed[4]:7:2,'          ');
    writeln (umed[5]:7:2,'          ',umed[6]:7:2);
    writeln; writeln;
  end
else
  begin
    i:=1; posicaoq[i]:=posicao[ntotal];
    posicao[i]:=posicaoq[i];
    write (posicao[i]:5:2,'          ');
    write (u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
    write ('          ',tg[i]:6:2,'          ');
    writeln (t[i]:6:2,'          ',urar[i]:6:2);
    for i:=6 to 30 do posicaoq[i]:=posicao[ntotal-i];
    for i:=6 to 30 do posicao[i]:=posicaoq[i]; i:=6;
    while i <= 30 do
      begin
        write (posicao[i]:5:2,'          ');
        write (u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
        write ('          ',tg[i]:6:2);
        write ('          ');
        writeln (t[i]:6:2,'          ',urar[i]:6:2);
        i:=i+6;
      end;
    i:=36; posicaoq[i]:=posicao[1]-0.875;
    posicao[i]:=posicaoq[i];
    write (posicao[i]:5:2,'          ');
    write (u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
    write ('          ',tg[i]:6:2,'          ');
    writeln (t[i]:6:2,'          ',urar[i]:6:2); writeln;
    write ('          TEOR DE UMIDADE MEDIO');
    writeln (' DAS SUBCAMADAS, % b.u..');
    write (' SUBCAM 1 SUBCAM 2 SUBCAM 3 ');
  end

```

```

writeln ('SUBCAM 4      SUBCAM 5      SUBCAM 6');
write (' ',umed[6]:7:2,'      ',umed[5]:7:2,'      ');
write (umed[4]:7:2,'      ',umed[3]:7:2,'      ');
writeln (umed[2]:7:2,'      ',umed[1]:7:2);
writeln; writeln;
end;
write ('***** UMIDADE FINAL MEDIA');
write (' ..... (% b.u.): ');
writeln (ufm:7:2);
write ('***** GRADIENTE DE UMIDADE');
write (' ..... (pontos percentuais): ');
writeln (grad:7:2);
write ('***** CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA');
writeln (' ..... (kJ/kg de agua):',eff:9:2);
writeln; writeln;
end;

```

```

procedure IMPRIME;
begin
  writeln (lst);
  write (lst,'                      TESTE DE');
  writeln (lst,' NUMERO:',TESTE:3:0); writeln (lst);
  if (hora <= 1) and (minuto < 1) then
    begin
      write (lst,'          T E M P O   D E   ');
      write (lst,'S E C A G E M: ',hora:3,' hora e ');
      writeln (lst,minuto:4:1,' minuto');
    end;
  if (hora <= 1) and (minuto >= 1) then
    begin
      write (lst,'          T E M P O   D E   ');
      write (lst,'S E C A G E M: ',hora:3,' hora e ');
      writeln (lst,minuto:4:1,' minutos');
    end;
  if (hora > 1) and (minuto < 1) then
    begin
      write (lst,'          T E M P O   D E   ');
      write (lst,'S E C A G E M: ',hora:3,' horas e ');
      writeln (lst,minuto:4:1,' minuto');
    end;
  if (hora > 1) and (minuto >= 1) then
    begin
      write (lst,'          T E M P O   D E   ');
      write (lst,'S E C A G E M: ',hora:3,' horas e ');
      writeln (lst,minuto:4:1,' minutos');
    end;
  writeln (lst);
  write (lst,'*****');
  write (lst,'R E S U L T A D O S');
  writeln (lst,'*****');
  write (lst,'posicao  umidade do grao  ');
  write (lst,'temperatura do grao');
  writeln (lst,' temp. do ar  umid. rel. ');
  write (lst,' (m)              (% b.u.)      ');
  write (lst,'(oC)              (oC)');
  writeln (lst,'              (%)' );

```

```

trocagav:=numero MOD 2;
for i:=1 to ntotal do posicao[i]:=deltx*i;
if (trocagav = 0) then
begin
i:=1;
write (lst,posicao[i]:5:2,' ');
write (lst,u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
write (lst,' ',tg[i]:6:2);
write (lst,' ',t[i]:6:2,' ');
writeln (lst,urar[i]:6:2); i:=6;
while i <= ntotal do
begin
write (lst,posicao[i]:5:2,' ');
write (lst,u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
write (lst,' ',tg[i]:6:2);
write (lst,' ',t[i]:6:2);
writeln (lst,' ',urar[i]:6:2); i:=i+6;
end;
writeln (lst);
write (lst,'          TEOR DE UMIDADE');
writeln (lst,' MEDIO DAS SUBCAMADAS, % b.u..');
write (lst,' SUBCAM 1   SUBCAM 2   SUBCAM 3');
write (lst,' SUBCAM 4   SUBCAM 5');
writeln (lst,' SUBCAM 6');
write (lst,' ',umed[1]:7:2,' ',umed[2]:7:2);
write (lst,' ',umed[3]:7:2,' ');
write (lst,umed[4]:7:2,' ');
writeln (lst,umed[5]:7:2,' ',umed[6]:7:2);
writeln (lst); writeln (lst);
end
else
begin
i:=1; posicaoq[i]:=posicao[ntotal];
posicao[i]:=posicaoq[i];
write (lst,posicao[i]:5:2,' ');
write (lst,' ',tg[i]:6:2);
write (lst,' ',t[i]:6:2,' ');
writeln (lst,urar[i]:6:2);
for i:=6 to 30 do posicaoq[i]:=posicao[ntotal-i];
for i:=6 to 30 do posicao[i]:=posicaoq[i]; i:=6;
while i <= 30 do
begin
write (lst,posicao[i]:5:2,' ');
write (lst,u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
write (lst,' ',tg[i]:6:2);
write (lst,' ',t[i]:6:2);
writeln (lst,' ',urar[i]:6:2); i:=i+6;
end;
i:=36; posicaoq[i]:=posicao[1]-0.875;
posicao[i]:=posicaoq[i];
write (lst,posicao[i]:5:2,' ');
write (lst,u[i]*100/(1+u[i]):6:2);
write (lst,' ',tg[i]:6:2);
write (lst,' ',t[i]:6:2,' ');
writeln (lst,urar[i]:6:2); writeln (lst);
write (lst,'          TEOR DE UMIDADE');

```

```

writeln (lst,' MEDIO DAS SUBCAMADAS, % b.u..');
write (lst,' SUBCAM 1 SUBCAM 2 SUBCAM 3');
write (lst,' SUBCAM 4 SUBCAM 5');
writeln (lst,' SUBCAM 6');
write (lst,' ',umed[6]:7:2,' ',umed[5]:7:2);
write (lst,' ',umed[4]:7:2,' ');
write (lst,umed[3]:7:2,' ');
writeln (lst,umed[2]:7:2,' ',umed[1]:7:2);
writeln (lst); writeln (lst);
end;
write (lst,'***** UMIDADE FINAL MEDIA');
write (lst,' ..... (% b.u.): ');
writeln (lst,ufm:7:2);
write (lst,'***** GRADIENTE DE UMIDADE');
write (lst,' ..... (pontos percentuais): ');
writeln (lst,grad:7:2);
write (lst,'***** CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA');
writeln (lst,' ..... (kJ/kg de agua):',eff:9:2);
writeln (lst); writeln (lst);
end;

```

#### procedure DECIDE;

```

begin
for i:=1 to 6 do umed[i]:=0.0;
for i:= 1 to 6 do umed[1]:=umed[1]+u[i]/6.0;
for i:= 7 to 12 do umed[2]:=umed[2]+u[i]/6.0;
for i:=13 to 18 do umed[3]:=umed[3]+u[i]/6.0;
for i:=19 to 24 do umed[4]:=umed[4]+u[i]/6.0;
for i:=25 to 30 do umed[5]:=umed[5]+u[i]/6.0;
for i:=31 to 36 do umed[6]:=umed[6]+u[i]/6.0;
umed[1]:=100*umed[1]/(1+umed[1]);
umed[2]:=100*umed[2]/(1+umed[2]);
umed[3]:=100*umed[3]/(1+umed[3]);
umed[4]:=100*umed[4]/(1+umed[4]);
umed[5]:=100*umed[5]/(1+umed[5]);
umed[6]:=100*umed[6]/(1+umed[6]);
umax:=umed[1];
for k:=2 to 6 do
if (umed[k] > umax) then umax:=umed[k];
umin:=umed[1];
for k:=2 to 6 do
if (umed[k] < umin) then umin:=umed[k];
grad:=umax-umin;
eff:=(ga*1.0048*(tsec-tamb)*tpar*(100-ufm));
eff:=eff/(415*xtotal*(ui0-ufm));
if (key = 'v') or (key = 'V') then VIDEO;
if (key = 'i') or (key = 'I') then IMPRIME;
if (key = '0') then
begin
VIDEO; IMPRIME;
end;
timp:=timp+itpi;
end;

```

```
{##### PROGRAMA PRINCIPAL #####}
```

### Centrada de dados5

```
begin
  clrscr; gotoxy(11,1);
  write ('SIMULACAO DE SECAGEM DE CAFE, EM CAMADA FIXA,');
  write (' COM INVERSAO'); gotoxy(18,2);
  write ('DE SENTIDO DE FLUXO DE AR, SEGUNDO THOMPSON. ');
  gotoxy(18,5);
  write ('Entrada de dados para a etapa de secagem:');
  gotoxy(1,8);
  write ('Teste de Numero');
  write (' ..... : ');
  readln (teste);
  write ('Teor de umidade inicial');
  write (' ..... (% b.u.): '); readln (ui0 );
  write ('Temperatura inicial dos graos');
  write (' ..... (oC): '); readln (tgi);
  write ('Temperatura ambiente');
  write (' ..... (oC): '); readln (tamb);
  write ('Umidade relativa media do ar');
  write (' ..... (%): '); readln (ur8);
  write ('Temperatura de secagem');
  write (' .....(oC): '); readln (tsec);
  write ('Fluxo de ar');
  write (' ..... (m^3/min m^2): ');
  readln (gar0);
  write ('Espessura da camada');
  write (' ..... (m): '); readln (xtotal);
  write ('Tempo de secagem');
  write (' ..... (h): ');
  readln (ttotal);
  if ttotal = 0.0 then
    begin
      write ('Teor de umidade final');
      write (' ..... (% b.u.): ');
      readln(ufinal);
    end;
  write ('Intervalo de tempo entre');
  write (' inversoes ..... (h): '); readln (tinverte);
  write ('Intervalo de tempo p/ impressao');
  write (' ..... (min): '); readln (itpi);
  ruamb:=RMIS(tamb,ur8); ntotal:=36; deltt:=0.01;
  deltmin:=deltt*60.0;
  write ('Impressao (v)ideo');
  write (' (i)mpressora ou (a)mbos ? : '); readln (key);
  if (key = 'i') or (key = 'I') then clrscr;
  if (key = 'i') or (key = 'I') or (key = '0') then
    begin
      write (lst,' SIMULACAO DE SECAGEM DE CAFE,');
      writeln (lst,' EM CAMADA FIXA, COM INVERSAO');
      write (lst,' DE FLUXO DE AR, SEGUNDO');
      writeln (lst,' O MODELO DE THOMPSON');
      writeln (lst);
      write (lst,' TESTE DE NUMERO: ');
      writeln (lst,TESTE:3:0); writeln (lst);
    end;
end;
```

```

write (lst,'          Dados de entrada para a');
writeln (lst,' etapa de secagem:'); writeln (lst);
write (lst,'Teor de umidade inicial');
writeln (lst,' ..... (% b.u.):', ui0:7:2);
write (lst,'Temperatura inicial dos graos');
writeln (lst,' ..... (oC):', tgi:7:2);
write (lst,'Temperatura ambiente');
write (lst,' ..... (oC):');
writeln (lst,tamb:7:2);
write (lst,'Umidade relativa media do ar');
writeln (lst,' ..... (%):', ur8:7:2);
write (lst,'Temperatura de secagem');
writeln (lst,' ..... (oC):', tsec:7:2);
write (lst,'Fluxo de ar .....');
writeln (lst,' (m^3/min m^2):', gar0:7:2);
write (lst,'Espessura da camada de secagem');
writeln (lst,' ..... (m):', xtotal:7:2);
write (lst,'Numero de divisoes da camada de');
writeln (lst,' secagem ..... :', ntotal:7);
write (lst,'Incremento de tempo de simulacao');
writeln (lst,' ..... (min):', delttmin:7:2);
if ttotal = 0.0 then
  begin
    write (lst,'Teor de umidade final');
    write (lst,' ..... (% b.u.):');
    writeln (lst, ufinal:7:2);
  end
else
  begin
    write (lst,'Tempo de secagem');
    write (lst,' ..... (h):');
    writeln (lst, ttotal:7:2);
  end;
  write (lst,'Intervalo de tempo entre inversoes');
  writeln (lst,' ..... (h):', tinverte:7:2);
  write (lst,'Intervalo de tempo p/ impressao');
  writeln (lst,' ..... (min):', itpi:7:2);
  writeln (lst); writeln (lst);
end;
ui:=ui0/(100.0-ui0);deltx:=xtotal/ntotal;
ga:=gar0*60.0/VESP(tamb,ruamb);
r:= ((396.48+224*ui)/(1+ui))*deltx/ga/deltt;
for i:=1 to ntotal do
begin
  u[i]:=ui; tg[i]:=tgi; umini[i]:=ui;
end;
tpar:=0.0; tmin:=0.0; timp:=itpi; tzero:=0.0; pareflag:=0;
numero:=2;
repeat
  while (tzero+deltt/2 <= tinverte) and (pareflag = 0) do
  begin
    tzero:=tzero+deltt; tpar:=tpar+deltt; tmin:=tpar*60.0;
    t0:=tsec; ru0:=ruamb;
    for i:=1 to ntotal do
      CAMADA
      (i,t0,ru0,ui,r,deltx,ga,deltt,u,tg,umini,ru,t,urar);
    hora:=trunc(tmin/60); minuto:=tmin-hora*60;

```



```

if minuto > 59.95 then
  begin
    hora:=hora+1; minuto:=0;
  end;
for i:=1 to 6 do umed[i]:=0.0;
for i:= 1 to 6 do umed[1]:=umed[1]+u[i]/6.0;
for i:= 7 to 12 do umed[2]:=umed[2]+u[i]/6.0;
for i:=13 to 18 do umed[3]:=umed[3]+u[i]/6.0;
for i:=19 to 24 do umed[4]:=umed[4]+u[i]/6.0;
for i:=25 to 30 do umed[5]:=umed[5]+u[i]/6.0;
for i:=31 to 36 do umed[6]:=umed[6]+u[i]/6.0;
umed[1]:=100*umed[1]/(1+umed[1]);
umed[2]:=100*umed[2]/(1+umed[2]);
umed[3]:=100*umed[3]/(1+umed[3]);
umed[4]:=100*umed[4]/(1+umed[4]);
umed[5]:=100*umed[5]/(1+umed[5]);
umed[6]:=100*umed[6]/(1+umed[6]);
ufm:=0.0;
for i:=1 to 6 do ufm:=ufm+umed[i]/6.0;
if (tmin+deltt*60/2 >= timp) then DECIDE;
if (ttotal = 0 ) then
  if (ufm <= ufinal) then
    begin
      pareflag:=1; DECIDE;
    end;
  if (ttotal <> 0 ) then
    if (tpar >= ttotal) then
      begin
        pareflag:=1; DECIDE;
      end;
end;
tzero:=tzero-tinverte; numero:=numero+1;
for i:=1 to ntotal do
  begin
    uq[i]:=u[ntotal+1-i]; tgq[i]:=tg[ntotal+1-i];
  end;
for i:=1 to ntotal do
  begin
    u[i]:=uq[i]; tg[i]:=tgq[i];
  end;
until pareflag=1;
end.

```

APENDICE B

AMOSTRA DE SAIDA DE RESULTADOS DO PROGRAMA DE COMPUTADOR

SIMULACAO DE SECAGEM DE CAFE, EM CAMADA FIXA, COM INVERSAO  
DE FLUXO DE AR, SEGUNDO O MODELO DE THOMPSON

TESTE DE NUMERO: 13

Dados de entrada para a etapa de secagem :

Teor de umidade inicial .....	(% b.u.)	=	25.20
Temperatura inicial dos graos .....	(oC)	=	20.60
Temperatura ambiente .....	(oC)	=	22.70
Umidade relativa media do ar .....	(%)	=	75.00
Temperatura de secagem .....	(oC)	=	69.70
Fluxo de ar .....	(m <sup>3</sup> /min m <sup>2</sup> )	=	14.30
Espessura da camada de secagem .....	(m)	=	0.90
Numero de divisoes da camada de secagem .....		=	36
Incremento de tempo de simulacao .....	(min)	=	0.60
Tempo de secagem .....	(h)	=	7.00
Intervalo de tempo entre inversoes .....	(h)	=	3.00
Intervalo de tempo p/ impressao .....	(min)	=	180.00

TESTE DE NUMERO: 13

T E M P O D E S E C A G E M : 3 horas e 0.0 minuto

\*\*\*\*\* R E S U L T A D O S \*\*\*\*\*

posicao (m)	umid. grau (% b.u.)	temp.grau (oC)	temp. do ar (oC)	umid. rel. (%)
0.02	14.22	69.22	69.22	6.97
0.15	15.64	66.60	66.60	8.47
0.30	17.19	63.05	63.05	10.94
0.45	18.62	59.11	59.11	14.40
0.60	19.95	54.86	54.86	19.25
0.75	21.19	50.33	50.33	26.09
0.90	22.38	45.52	45.52	35.95

TEOR DE UMIDADE MEDIO DAS SUBCAMADAS, % b.u.

SUBCAM 1	SUBCAM 2	SUBCAM 3	SUBCAM 4	SUBCAM 5	SUBCAM 6
14.94	16.56	18.04	19.41	20.68	21.89

UMIDADE FINAL MEDIA ..... (% b.u.): 18.59  
 GRADIENTE DE UMIDADE ..... (pontos percentuais): 6.95  
 CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA .....(kJ/kg de agua): 4682.92

TESTE DE NUMERO: 13

TEMPO DE SECAGEM: 6 horas e 0.0 minuto

\*\*\*\*\* RESULTADOS \*\*\*\*\*  
 posicao umid. grao temp.grao temp. do ar umid. rel.  
 (m) (% b.u.) (oC) (oC) (%)  
 0.90 13.76 69.25 69.25 6.96  
 0.75 14.25 66.97 66.97 8.24  
 0.60 14.82 64.28 64.28 10.01  
 0.45 14.75 61.80 61.80 11.91  
 0.30 14.30 59.64 59.64 13.81  
 0.15 13.51 57.86 57.86 15.57  
 0.02 12.41 56.42 56.42 17.11

TEOR DE UMIDADE MEDIO DAS SUBCAMADAS, % b.u.  
 SUBCAM 1 SUBCAM 2 SUBCAM 3 SUBCAM 4 SUBCAM 5 SUBCAM 6  
 12.90 13.86 14.51 14.81 14.70 14.13

UMIDADE FINAL MEDIA ..... (% b.u.): 14.15  
 GRADIENTE DE UMIDADE ..... (pontos percentuais): 1.92  
 CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA .....(kJ/kg de agua): 5912.31

TESTE DE NUMERO: 13

TEMPO DE SECAGEM: 7 horas e 0.0 minuto

\*\*\*\*\* RESULTADOS \*\*\*\*\*  
 posicao umid. grao temp.grao temp. do ar umid. rel.  
 (m) (% b.u.) (oC) (oC) (%)  
 0.02 11.22 69.41 69.41 6.87  
 0.15 12.14 67.85 67.85 7.71  
 0.30 13.00 65.83 65.83 8.93  
 0.45 13.57 63.75 63.75 10.35  
 0.60 13.78 61.73 61.73 11.93  
 0.75 13.59 59.84 59.84 13.58  
 0.90 12.94 58.05 58.05 15.26

TEOR DE UMIDADE MEDIO DAS SUBCAMADAS, % b.u.  
 SUBCAM 1 SUBCAM 2 SUBCAM 3 SUBCAM 4 SUBCAM 5 SUBCAM 6  
 11.70 12.66 13.35 13.72 13.71 13.25

UMIDADE FINAL MEDIA ..... (% b.u.): 13.07  
 GRADIENTE DE UMIDADE ..... (pontos percentuais): 2.03  
 CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA .....(kJ/kg de agua): 6359.45

APENDICE C

QUADRO 1C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 1

Tempo (h)	Ar Ambiente ‡		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	23.0	88	51.5	27.0	25.3	24.7	24.3	24.9	24.8	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	18.0
1	23.5	86	99.7	44.8	34.4	30.7	27.0	28.5	28.1	0.274	0.302	0.323	0.333	0.347	0.345	15.2
2	24.0	83	50.1	47.2	42.5	37.3	34.0	29.6	29.0	0.249	0.270	0.292	0.306	0.337	0.343	16.0
3	24.5	80	50.1	47.7	44.5	41.1	39.0	33.7	30.2	0.232	0.253	0.270	0.285	0.312	0.325	16.5
4	25.2	76	50.9	48.6	45.6	42.7	41.6	37.9	33.5	0.215	0.237	0.256	0.267	0.290	0.305	15.5
5	26.0	73	50.2	47.1	45.6	43.6	42.4	40.1	36.8	0.197	0.218	0.235	0.248	0.269	0.280	16.2
6	27.0	67	50.1	46.9	44.8	43.0	42.1	40.2	37.9	0.190	0.212	0.229	0.242	0.259	0.270	15.8
7	27.5	63	50.0	47.0	45.1	43.4	42.5	40.8	38.6	0.171	0.172	0.209	0.223	0.244	0.251	16.0
8	28.5	58	50.0	47.2	45.4	43.7	42.8	41.1	39.1	0.169	0.188	0.207	0.221	0.240	0.249	15.5
9	29.0	58	50.0	41.4	45.8	44.2	43.3	41.7	37.9	0.155	0.175	0.192	0.205	0.226	0.233	-
10	29.0	58	50.0	47.4	45.9	44.4	43.6	42.0	40.3	0.152	0.171	0.188	0.201	0.222	0.229	15.5
11	28.5	61	49.9	47.6	46.3	45.0	41.0	42.4	40.5	0.142	0.161	0.170	0.190	0.211	0.219	16.0
12	27.0	63	50.0	47.5	46.2	44.8	43.8	42.3	40.8	0.140	0.155	0.172	0.186	0.205	0.213	16.5
13	27.0	73	50.0	47.6	46.5	45.1	44.0	42.6	40.7	0.132	0.149	0.166	0.180	0.199	0.208	17.0
14	26.0	76	49.9	47.6	46.4	45.2	44.0	42.7	40.7	0.129	0.143	0.160	0.173	0.191	0.200	17.0
15	26.0	78	47.8	47.6	46.6	45.3	44.2	42.8	40.8	0.119	0.132	0.146	0.159	0.178	0.188	17.0

‡ temperatura e umidade relativa

QUADRO 2C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 2

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	25.0	82	50.2	28.0	26.0	25.8	25.5	25.0	25.0	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	17.0
1	25.5	77	50.1	44.5	34.8	30.5	29.0	28.3	27.9	0.277	0.303	0.323	0.333	0.345	0.345	15.5
2	26.5	70	50.2	47.0	42.3	37.5	33.7	29.5	28.9	0.252	0.275	0.295	0.308	0.337	0.343	15.5
3	27.0	67	50.1	47.4	44.2	41.0	38.5	33.4	30.0	0.235	0.255	0.271	0.285	0.309	0.321	15.0
4	27.5	62	50.5	47.9	44.9	42.5	41.2	37.5	33.1	0.215	0.241	0.257	0.269	0.290	0.303	16.0
5	28.0	60	49.9	47.3	45.0	43.2	42.2	39.5	36.2	0.198	0.223	0.237	0.252	0.268	0.280	16.5
6	28.5	60	50.1	47.3	44.9	43.4	42.2	40.2	37.5	0.192	0.219	0.233	0.246	0.260	0.272	16.0
7	29.0	58	50.3	47.5	44.9	43.5	42.3	40.5	38.3	0.177	0.203	0.217	0.230	0.249	0.256	15.0
8	30.0	60	50.0	47.2	44.8	43.7	42.6	40.9	39.0	0.171	0.197	0.213	0.225	0.241	0.252	16.5
9	29.5	63	50.3	47.4	45.0	43.9	43.0	41.5	39.5	0.157	0.185	0.197	0.209	0.227	0.236	15.5
10	27.5	70	50.0	47.4	45.3	44.2	43.3	41.9	39.7	0.154	0.181	0.193	0.205	0.223	0.232	16.0
11	25.0	75	50.5	47.5	45.6	44.8	43.6	42.2	40.1	0.144	0.171	0.183	0.195	0.211	0.223	16.0
12	24.5	77	50.1	47.4	45.9	44.8	43.3	42.2	39.6	0.142	0.165	0.177	0.192	0.206	0.217	16.5
13	23.0	76	50.3	47.5	46.2	45.0	43.6	42.3	40.0	0.134	0.159	0.172	0.186	0.200	0.211	17.0
14	23.0	79	50.5	47.4	46.4	45.2	43.5	42.5	40.0	0.130	0.153	0.166	0.178	0.194	0.205	17.5
15	22.5	85	50.1	47.1	46.3	45.4	43.6	42.6	40.5	0.121	0.141	0.152	0.165	0.180	0.191	17.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 3C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 3

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	01	02	03	T4	T5	T6	07	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	24.0	86	53.0	27.5	26.0	25.1	25.1	24.8	24.6	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	17.0
1	24.5	85	50.1	45.0	35.0	30.0	29.4	28.0	27.6	0.270	0.299	0.316	0.330	0.339	0.337	17.0
2	25.0	80	50.1	47.4	42.5	37.0	34.2	29.1	28.5	0.244	0.267	0.285	0.299	0.328	0.334	16.5
3	25.5	75	50.1	48.0	44.3	41.4	38.9	33.0	29.7	0.225	0.248	0.263	0.279	0.299	0.314	16.5
4	26.0	70	49.9	48.4	44.8	42.6	40.8	37.1	32.7	0.209	0.229	0.250	0.260	0.281	0.297	16.5
5	26.5	62	50.0	48.6	44.9	42.9	41.9	39.0	36.0	0.190	0.207	0.224	0.241	0.258	0.269	16.0
6	27.0	57	50.3	48.5	44.9	43.3	42.5	39.8	37.0	0.183	0.203	0.218	0.235	0.249	0.260	16.0
7	27.5	54	50.0	48.4	44.8	43.3	42.7	40.0	38.0	0.169	0.186	0.201	0.223	0.235	0.244	16.0
8	28.0	58	50.2	48.5	44.8	43.6	43.0	40.5	38.8	0.160	0.178	0.195	0.214	0.228	0.238	15.5
9	26.0	65	50.1	48.4	45.0	43.9	43.0	41.0	39.3	0.147	0.164	0.181	0.204	0.218	0.225	15.5
10	26.0	72	50.2	48.3	45.1	44.0	43.0	41.5	39.8	0.143	0.160	0.177	0.200	0.214	0.221	16.0
11	24.5	82	50.2	48.3	45.5	44.3	43.2	41.9	40.0	0.135	0.153	0.168	0.188	0.201	0.209	17.0
12	24.0	85	50.1	48.2	45.6	44.8	43.4	42.1	39.9	0.131	0.147	0.160	0.185	0.197	0.203	17.0
13	24.0	84	50.0	48.2	45.9	45.0	43.7	42.1	40.1	0.128	0.141	0.156	0.179	0.191	0.199	16.5
14	23.5	87	50.1	48.2	46.0	45.1	43.7	42.2	40.2	0.124	0.137	0.150	0.171	0.181	0.192	17.0
15	23.5	88	50.0	48.2	46.2	45.2	43.7	42.4	40.4	0.116	0.127	0.140	0.163	0.170	0.184	16.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 4C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 4

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	20.5	76	49.3	23.8	22.7	22.0	22.8	22.3	22.6	6.335	6.335	0.335	0.335	0.335	0.335	14.0
1	24.0	69	56.4	44.6	35.0	29.3	27.3	26.7	26.5	0.270	0.311	0.323	0.331	0.335	0.339	14.0
2	24.0	70	50.1	46.5	42.1	36.1	33.3	28.1	27.4	0.251	0.287	0.296	0.310	0.327	0.341	-
3	24.5	70	50.3	47.2	44.0	40.5	38.3	32.7	29.3	0.223	0.256	0.262	0.274	0.291	0.310	15.0
4	26.0	69	50.4	44.5	39.6	36.3	34.3	31.5	34.8	0.217	0.252	0.260	0.270	0.271	0.267	16.0
5	27.0	64	50.4	46.8	43.5	41.3	39.3	37.7	36.3	0.210	0.242	0.244	0.250	0.246	0.236	15.3
6	28.0	56	50.4	47.3	44.4	42.3	41.1	39.5	37.9	0.213	0.242	0.240	0.243	0.236	0.228	15.3
7	29.0	53	50.3	47.7	45.1	42.8	41.5	39.1	37.8	0.200	0.234	0.234	0.241	0.233	0.222	15.8
8	29.5	48	50.2	48.2	45.9	44.0	43.0	42.8	39.5	0.179	0.212	0.216	0.223	0.215	0.207	16.5
9	30.0	45	50.3	48.5	46.2	44.3	43.5	41.7	39.9	0.176	0.208	0.212	0.221	0.213	0.209	16.0
10	30.0	47	50.4	46.9	46.0	44.4	42.8	41.2	39.9	0.172	0.202	0.206	0.211	0.204	0.193	16.0
11	28.0	59	50.5	47.3	45.3	44.3	43.1	22.0	40.6	0.168	0.196	0.198	0.203	0.192	0.179	16.5
12	26.0	63	50.4	47.2	45.4	44.3	43.0	41.9	40.5	0.162	0.190	0.190	0.193	0.184	0.172	17.5
13	25.0	65	50.4	47.5	45.8	43.9	42.8	41.0	38.9	0.154	0.182	0.185	0.189	0.177	0.168	18.5
14	25.11	67	50.4	47.5	46.1	44.6	43.6	42.3	40.1	0.147	0.175	0.177	0.181	0.171	0.164	19.5
15	24.0	68	50.9	47.8	46.4	44.8	43.9	42.5	40.4	0.139	0.169	0.169	0.175	0.165	0.158	19.5
16	24.0	73	49.2	47.4	48.3	44.6	43.1	42.0	40.2	0.136	0.161	0.163	0.168	0.157	0.148	20.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 5C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 5

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	22.0	a7	51.1	26.2	25.0	25.3	24.7	25.7	25.0	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	15.0
1	23.5	81	50.0	43.2	35.9	31.5	28.9	27.7	27.4	0.278	0.304	0.324	0.326	0.339	0.339	15.5
2	24.5	76	50.1	45.2	41.5	36.6	33.9	29.2	28.6	0.264	0.286	0.303	0.309	0.334	0.345	16.0
3	25.0	70	50.4	46.0	43.3	40.1	38.1	33.2	29.9	0.247	0.268	0.281	0.287	0.308	0.326	15.0
4	26.0	65	50.4	43.2	38.0	35.9	34.8	34.4	34.7	0.243	0.264	0.275	0.278	0.287	0.280	15.5
5	27.0	57	50.4	45.4	42.4	40.2	38.2	36.8	35.4	0.239	0.258	0.266	0.264	0.266	0.254	15.0
6	27.5	53	50.4	46.2	43.7	42.0	40.1	38.8	37.3	0.232	0.246	0.254	0.250	0.250	0.237	15.0
7	23.0	51	50.4	46.6	44.1	42.0	40.3	38.4	37.5	0.214	0.234	0.244	0.241	0.241	0.229	15.5
8	28.0	48	50.3	47.1	45.1	43.3	42.4	40.7	39.1	0.203	0.224	0.233	0.231	0.233	0.223	16.5
9	28.5	46	50.4	47.3	45.5	43.8	42.9	41.2	39.5	0.191	0.214	0.221	0.222	0.223	0.216	17.0
10	26.5	60	50.6	47.0	44.7	43.2	41.9	40.7	39.5	0.187	0.206	0.215	0.214	0.214	0.202	17.0
11	25.0	74	50.4	47.0	45.1	44.0	42.8	41.9	40.1	0.184	0.202	0.208	0.204	0.204	0.190	18.0
12	25.0	78	50.4	47.0	45.3	44.2	42.9	42.0	40.1	0.180	0.196	0.202	0.196	0.194	0.181	17.0
13	24.0	78	50.2	47.1	45.5	43.8	42.6	41.0	39.2	0.170	0.188	0.194	0.191	0.188	0.177	16.5
14	24.0	79	50.2	47.3	45.9	44.4	43.3	42.0	39.7	0.162	0.180	0.186	0.185	0.183	0.173	16.5
15	23.5	80	50.3	47.5	46.3	44.7	43.8	42.5	40.3	0.156	0.172	0.180	0.177	0.179	0.167	17.5
16	23.5	81	50.2	47.0	45.3	43.9	42.6	41.6	39.8	0.155	0.170	0.175	0.171	0.171	0.160	17.0
17	23.5	82	50.2	47.1	45.8	44.6	43.9	43.0	41.1	0.151	0.166	0.171	0.168	0.163	0.152	-
18	23.5	83	50.1	47.2	45.9	44.8	44.0	43.2	41.3	0.149	0.162	0.165	0.160	0.158	0.146	17.0

† temperatura e umidade relativa



QUADRO 6C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 6

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	21.0	89	50.1	24.0	23.0	23.0	22.8	22.8	22.5	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	15.0
1	21.5	85	50.2	44.0	35.4	30.3	28.0	27.3	26.6	0.276	0.311	0.327	0.333	0.343	0.343	15.0
2	24.0	80	50.1	45.8	41.7	36.4	33.5	28.5	27.3	0.258	0.291	0.304	0.313	0.335	0.346	15.5
3	24.5	70	50.3	46.7	43.8	40.2	38.1	33.0	29.3	0.233	0.263	0.274	0.284	0.306	0.321	15.0
4	26.5	62	50.2	43.9	38.7	36.0	34.9	34.5	34.7	0.227	0.257	0.270	0.276	0.285	0.276	15.0
5	27.0	57	50.0	46.2	42.9	40.8	38.6	37.1	36.0	0.222	0.249	0.258	0.261	0.261	0.247	15.0
6	28.0	51	50.1	46.8	44.0	42.2	40.6	39.0	37.7	0.216	0.243	0.253	0.251	0.248	0.234	15.5
7	28.5	52	50.3	47.2	44.7	42.5	40.7	38.8	37.6	0.203	0.233	0.245	0.243	0.242	0.228	16.0
8	28.5	62	50.1	47.8	45.5	43.8	42.9	41.9	39.2	0.185	0.217	0.231	0.233	0.230	0.218	16.0
9	28.0	67	50.1	48.2	46.1	44.1	43.3	41.6	39.8	0.178	0.209	0.223	0.223	0.224	0.214	16.0
10	27.5	72	50.3	47.0	45.1	43.8	42.5	41.0	39.7	0.174	0.203	0.217	0.214	0.215	0.201	16.5
11	25.0	75	50.0	47.2	45.2	44.2	42.9	42.1	40.4	0.172	0.199	0.209	0.206	0.203	0.189	16.5
12	24.0	76	50.0	47.2	45.5	44.3	43.0	41.9	40.5	0.170	0.193	0.202	0.198	0.195	0.180	17.0
13	23.5	78	49.9	47.3	45.6	43.8	42.7	41.1	39.0	0.164	0.185	0.194	0.192	0.187	0.176	16.5
14	23.0	78	50.2	47.4	46.0	44.3	43.4	42.1	39.9	0.156	0.177	0.186	0.184	0.181	0.172	-
15	23.0	79	50.2	47.5	46.2	44.5	43.7	42.5	40.3	0.149	0.172	0.178	0.177	0.178	0.166	17.5
16	22.0	82	50.1	47.3	45.2	43.5	43.0	41.8	39.8	0.147	0.168	0.172	0.169	0.170	0.156	18.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 7C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 7

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	24.0	-	48.3	30.0	29.0	27.9	28.0	28.0	29.0	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	17.5
1	25.0	72	50.3	45.4	37.5	31.6	28.9	27.7	27.5	0.278	0.305	0.325	0.335	0.345	0.349	16.5
2	25.5	69	50.3	47.3	43.5	38.9	36.0	30.1	28.8	0.265	0.288	0.303	0.316	0.539	0.355	16.0
3	26.5	67	51.1	49.0	45.9	42.7	40.7	35.6	31.6	0.233	0.256	0.271	0.281	0.300	0.321	15.5
4	27.0	63	50.3	46.5	44.3	42.2	41.1	38.3	31.9	0.229	0.252	0.267	0.277	0.290	0.308	15.0
5	28.0	60	50.3	46.7	44.6	42.7	41.8	39.5	36.8	0.214	0.240	0.253	0.263	0.217	0.292	15.0
6	29.0	53	50.2	46.9	44.9	42.9	42.3	40.2	37.9	0.204	0.227	0.242	0.252	0.265	0.280	15.0
7	30.0	52	50.3	46.1	43.3	41.6	40.3	39.1	38.5	0.192	0.215	0.228	0.236	0.245	0.250	-
8	30.0	46	50.3	46.4	44.0	42.8	41.7	40.6	39.2	0.194	0.215	0.226	0.232	0.237	0.216	15.0
9	30.5	46	50.3	46.7	44.6	43.4	42.4	41.3	40.0	0.190	0.209	0.218	0.222	0.225	0.226	15.0
10	31.0	52	50.2	47.3	45.6	44.4	43.0	41.8	40.3	0.184	0.203	0.210	0.214	0.214	0.213	15.0
11	29.0	60	50.2	47.2	45.4	44.2	43.3	42.3	41.0	6.680	0.197	0.202	0.205	0.204	0.201	17.0
12	28.0	64	50.2	47.3	45.6	44.5	43.4	42.5	41.1	0.176	0.191	0.196	0.197	0.196	0.191	17.0
13	28.0	70	50.4	47.7	46.1	24.6	43.7	42.1	40.6	0.167	0.183	0.190	0.191	0.190	0.187	17.0
14	27.0	74	50.1	47.5	46.3	44.9	44.0	42.7	40.8	0.161	0.177	0.182	0.183	0.184	0.183	18.0
15	26.0	75	50.4	47.5	46.6	45.2	44.4	43.1	41.3	0.155	0.171	0.176	0.178	0.179	0.177	17.5
16	27.0	74	50.4	47.7	46.8	45.4	44.8	43.6	41.7	0.149	0.164	0.170	0.172	0.175	0.173	27.5
17	36.6	77	50.0	47.6	46.7	45.4	44.7	43.6	41.7	0.145	0.158	0.163	0.166	0.169	0.169	-
18	25.5	78	50.3	47.5	46.9	45.5	44.7	43.6	41.8	0.141	0.154	0.159	0.162	0.163	0.165	-

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 8C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 8

Tempo (h)	Ar Ambiente ‡		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	20.5	73	51.9	24.0	23.0	23.0	22.9	23.2	23.2	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	15.5
1	20.5	73	50.8	42.3	32.7	29.0	26.8	26.0	25.5	0.286	0.316	0.330	0.337	0.349	0.351	15.5
2	22.5	72	50.6	43.1	40.5	35.5	32.1	28.2	27.7	0.268	0.292	0.306	0.320	0.347	0.357	15.5
3	24.0	68	50.7	46.0	43.1	39.6	37.4	31.8	29.3	0.247	0.271	0.283	0.295	0.318	0.339	15.0
4	25.0	63	51.0	46.4	43.9	41.3	39.9	35.9	32.1	0.234	0.257	0.267	0.279	0.297	0.320	15.0
5	24.5	61	50.9	47.0	44.8	42.5	41.4	38.5	35.5	0.219	0.244	0.253	0.266	0.281	0.299	16.0
6	26.5	58	51.1	47.2	45.2	43.2	42.3	40.0	37.8	0.205	0.230	0.240	0.252	0.268	0.283	16.0
7	27.0	57	49.8	45.5	43.4	41.5	40.1	39.0	38.5	0.201	0.224	0.232	0.243	0.254	0.260	16.0
8	28.0	53	50.4	46.2	44.2	42.8	41.7	40.5	39.2	0.196	0.217	0.224	0.233	0.239	0.242	16.5
V	27.0	41	50.4	46.5	44.6	43.4	42.2	41.2	39.8	0.190	0.211	0.214	0.221	0.227	0.227	16.0
10	31.0	41	50.4	47.0	44.9	43.7	42.7	41.7	40.5	0.184	0.203	0.207	0.212	0.216	0.213	16.5
11	31.0	39	50.4	47.3	45.3	43.9	43.2	42.0	40.7	0.180	0.197	0.191	0.202	0.204	0.199	16.0
E2	30.0	43	50.3	47.5	45.8	44.5	43.8	42.7	41.2	0.175	0.189	0.183	0.194	0.195	0.190	16.5
13	30.0	50	50.4	47.6	46.1	44.5	43.6	42.0	41.0	0.167	0.181	0.177	0.187	0.189	0.184	17.0
14	27.5	62	50.5	47.8	46.5	45.5	44.4	43.0	41.3	0.158	0.173	0.169	0.181	0.183	0.180	18.0
15	26.5	66	50.3	47.7	46.6	45.5	44.5	43.2	41.5	0.152	0.168	0.164	0.175	0.177	0.174	17.0
16	26.0	68	50.1	47.6	46.6	45.3	44.5	43.2	41.4	0.146	0.162	0.158	0.169	0.171	0.168	18.0
17	25.5	68	50.2	47.3	46.5	45.3	44.2	43.0	41.1	0.140	0.156	0.152	0.163	0.166	0.166	17.5

‡ temperatura e umidade relativa

QUADRO 9C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 9

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	22.0	73	49.8	26.0	25.5	25.0	24.8	24.8	24.7	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	15.5
1	22.5	70	50.1	43.0	35.0	29.7	27.7	26.8	26.5	0.280	0.308	0.326	0.334	0.343	0.347	15.5
2	23.0	67	50.2	44.2	42.1	36.8	32.8	29.1	28.2	0.264	0.288	0.304	0.314	0.339	0.353	15.5
3	24.0	64	50.0	45.3	43.1	40.6	37.6	33.5	30.3	0.241	0.262	0.276	0.285	0.305	0.326	15.0
4	24.5	60	50.2	46.4	44.0	41.7	40.0	37.0	33.3	0.231	0.252	0.266	0.278	0.289	0.310	15.0
5	25.0	58	50.1	46.9	44.7	42.3	41.5	39.0	36.1	0.218	0.238	0.252	0.264	0.274	0.291	15.0
6	26.5	55	50.1	47.1	45.0	42.8	42.3	40.0	37.8	0.206	0.226	0.240	0.253	0.260	0.277	15.0
7	27.0	54	50.1	46.0	43.4	41.5	40.2	39.1	38.5	0.199	0.216	0.230	0.241	0.243	0.252	15.0
8	28.5	52	50.3	46.4	44.1	42.8	41.7	40.5	39.1	0.197	0.214	0.224	0.235	0.232	0.238	16.0
9	30.0	49	50.1	46.6	44.6	43.3	42.3	41.2	39.9	0.191	0.208	0.214	0.225	0.220	0.225	16.0
10	29.0	50	49.9	47.2	45.3	44.1	42.8	41.7	40.2	0.185	0.200	0.207	0.216	0.208	0.211	16.5
11	27.0	53	50.0	47.3	45.4	44.2	43.2	42.3	40.8	0.181	0.194	0.201	0.206	0.199	0.197	17.0
12	26.0	59	50.2	47.4	45.8	44.5	43.7	42.6	41.2	0.175	0.188	0.193	0.198	0.191	0.186	17.0
13	25.0	63	50.1	47.7	46.1	44.5	43.7	42.1	40.9	0.166	0.180	0.187	0.192	0.185	0.180	17.0
14	24.0	67	50.0	47.7	46.4	45.2	44.2	42.8	41.1	0.158	0.172	0.179	0.185	0.180	0.176	17.5
15	23.5	71	50.0	47.6	46.6	45.3	44.3	43.2	41.4	0.152	0.166	0.173	0.179	0.174	0.170	18.0
16	23.0	76	50.2	47.7	46.6	45.3	44.6	43.4	41.6	0.147	0.160	0.167	0.173	0.170	0.166	17.5
17	23.0	80	50.1	47.6	46.6	45.4	44.7	43.5	41.8	0.143	0.155	0.161	0.167	0.164	0.162	17.5

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 10C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 10

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	U (%)	T1	T2	T3	T4	T5	A	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	22.0	72	72.0	28.5	25.7	24.1	24.0	23.9	23.8	0.344	0.344	0.344	0.344	0.344	0.344	13.0
1	23.0	71	69.9	59.0	42.4	34.4	32.5	30.5	30.1	0.244	0.289	0.324	0.340	0.340	0.352	12.5
2	24.0	69	69.9	62.3	53.7	47.5	43.2	33.3	31.7	0.202	0.239	0.274	0.292	0.330	0.342	12.0
3	24.0	69	69.9	64.5	57.1	52.0	50.0	42.5	36.2	0.165	0.196	0.238	0.258	0.287	0.308	11.5
4	24.5	67	69.9	66.6	60.6	54.4	53.1	47.6	42.2	0.143	0.168	0.208	0.233	0.259	0.276	14.0
5	25.0	68	69.9	67.2	62.4	56.4	55.0	50.3	46.2	0.123	0.142	0.182	0.205	0.235	0.252	13.8
6	25.0	68	69.7	67.7	63.9	58.3	56.6	52.2	47.3	0.112	0.121	0.160	0.181	0.213	0.232	14.0
7	25.0	68	69.9	68.2	64.9	60.0	58.6	54.0	49.2	0.100	0.107	0.142	0.161	0.192	0.211	15.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 11C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 11

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	23.0	82	72.1	28.4	23.7	22.4	21.4	21.2	21.8	0.346	0.346	0.346	0.346	0.346	0.346	15.0
1	23.0	82	70.5	60.1	45.3	33.8	32.4	30.5	30.3	0.247	0.293	0.328	0.342	0.344	0.354	15.0
2	23.5	79	70.6	62.8	54.7	48.6	45.1	35.1	32.1	0.201	0.246	0.277	0.295	0.334	0.344	15.0
3	24.0	74	70.3	64.3	57.6	52.6	50.2	44.2	37.0	0.166	0.210	0.240	0.260	0.291	0.309	15.0
4	25.0	70	70.4	65.5	59.9	55.0	52.8	47.9	42.7	0.142	0.181	0.212	0.234	0.265	0.277	15.0
5	25.5	67	70.5	66.6	61.8	57.3	54.5	50.0	45.9	0.124	0.157	0.186	0.208	0.240	0.253	15.0
6	26.0	68	70.3	67.3	63.5	59.0	56.7	52.2	47.8	0.112	0.136	0.163	0.185	0.218	0.233	15.5
7	26.0	67	70.5	67.7	64.7	60.9	58.2	53.8	49.1	0.102	0.122	0.145	0.165	0.197	0.212	15.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 12C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 12

Tempo (h)	Ar Ambiente †			Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6		
0	25.0	60	69.7	28.6	27.9	26.0	26.4	28.6	27.5	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	0.330	16.0	
1	26.0	53	70.3	58.4	43.9	35.4	33.2	29.6	29.4	0.232	0.277	0.295	0.308	0.330	0.342	14.5	
2	27.0	45	70.4	62.4	54.7	48.7	45.8	36.7	31.5	0.190	0.236	0.252	0.269	0.300	0.328	14.0	
3	27.0	40	70.3	64.3	57.7	52.7	51.1	45.6	39.6	0.159	0.200	0.220	0.237	0.264	0.291	15.0	
4	29.0	40	70.2	65.6	60.4	55.9	53.8	49.5	44.8	0.133	0.169	0.191	0.212	0.233	0.265	15.0	
5	29.5	40	70.2	66.6	62.5	57.9	56.0	51.8	47.6	0.119	0.149	0.166	0.188	0.217	0.244	17.5	
6	30.0	36	70.2	67.0	64.0	60.2	57.9	53.9	49.5	0.106	0.134	0.146	0.166	0.195	0.224	17.0	
7	30.0	34	70.1	67.6	65.2	61.7	59.5	55.9	51.4	0.096	0.118	0.130	0.149	0.173	0.202	17.0	

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 13C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 13

Tempo (h)	Ar Ambiente ‡		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	21.0	79	66.8	28.5	27.8	26.8	27.7	29.5	27.3	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	0.337	16.5
1	21.0	78	69.8	59.8	47.6	35.9	32.6	31.1	30.3	0.245	0.297	0.327	0.343	0.362	0.359	16.0
2	21.8	77	69.8	63.1	56.4	48.3	44.0	34.5	31.8	0.200	0.253	0.273	0.299	0.327	0.341	16.0
3	22.2	77	69.9	65.0	59.4	52.7	50.4	43.8	37.2	0.169	0.220	0.239	0.265	0.293	0.305	16.0
4	23.0	74	69.7	61.3	53.4	48.0	46.4	44.2	42.8	0.161	0.209	0.225	0.245	0.261	0.239	15.5
5	24.0	71	69.7	63.6	57.3	52.5	51.1	48.8	45.8	0.141	0.178	0.193	0.207	0.210	0.179	15.0
6	24.0	72	69.8	65.3	60.1	55.9	53.6	51.3	48.2	0.144	0.182	0.189	0.196	0.191	0.163	16.3
7	24.0	75	69.8	66.9	62.8	57.3	54.8	51.1	47.8	0.126	0.157	0.166	0.184	0.181	0.158	19.5

‡ temperatura e umidade relativa



QUADRO 14C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 14

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	Q (°C)	U <sub>0</sub> (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	20.0	83	71.3	25.0	24.3	22.5	21.2	21.4	22.2	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	-
1	22.5	80	70.5	60.2	46.0	35.1	32.6	31.1	30.7	0.237	0.283	0.317	0.330	0.352	0.351	14.5
2	24.5	74	70.3	63.0	55.4	48.3	44.3	34.6	30.8	0.195	0.238	0.267	0.287	0.320	0.336	14.0
3	24.5	70	70.2	64.8	58.5	53.0	50.6	44.4	36.7	0.164	0.205	0.234	0.255	0.283	0.301	14.0
4	25.5	64	70.2	60.5	53.1	48.9	47.6	44.3	43.2	0.159	0.195	0.220	0.236	0.250	0.232	15.0
5	26.0	64	70.3	63.2	57.1	53.5	50.9	48.6	46.2	0.138	0.165	0.187	0.196	0.200	0.173	14.0
6	27.0	60	70.1	64.8	59.5	56.0	53.5	51.3	48.6	0.144	0.169	0.183	0.186	0.182	0.157	-
7	28.0	56	70.0	66.4	62.2	56.8	55.2	51.3	48.7	0.128	0.146	0.161	0.175	0.173	0.152	13.8

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 15C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Test\_15

Tempo (h)	Ar Ambiente ‡		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	0 (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	05	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	22.0	81	69.8	24.3	24.0	23.7	22.0	22.0	22.1	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	15.0
1	23.0	75	70.4	59.1	45.5	35.3	33.0	31.1	30.4	0.239	0.292	0.324	0.335	0.360	0.356	15.0
2	25.5	70	70.2	62.5	55.3	48.3	44.5	34.4	30.9	0.195	0.244	0.276	0.292	0.329	0.339	15.0
3	25.5	65	69.8	64.6	58.3	52.9	50.4	44.2	36.5	0.164	0.213	0.243	0.260	0.291	0.303	15.0
4	26.0	64	70.4	61.0	52.9	48.5	47.4	44.1	43.1	0.158	0.203	0.227	0.240	0.253	0.231	15.0
5	26.5	60	69.9	63.5	57.0	53.3	50.5	48.3	46.2	0.137	0.175	0.194	0.202	0.205	0.170	14.5
6	26.5	59	70.4	65.1	59.3	55.8	53.3	51.1	48.3	0.131	0.171	0.190	0.192	0.187	0.156	14.5
7	27.0	57	70.1	66.7	62.0	57.0	55.0	51.1	48.4	0.114	0.155	0.166	0.178	0.179	0.151	14.5

‡ temperatura e umidade relativa

QUADRO 16C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 16

Tempo (h)	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	23.5	69	69.2	27.7	27.3	26.6	26.6	27.4	25.7	0.318	0.318	0.318	0.318	0.318	0.318	13.5
1	24.5	66	70.1	58.7	41.6	33.5	31.7	30.1	29.6	0.232	0.281	0.310	0.319	0.335	0.337	14.0
2	25.0	63	69.8	63.1	55.0	45.8	42.6	33.4	31.0	0.183	0.229	0.259	0.279	0.310	0.325	13.5
3	25.5	61	69.6	65.5	59.3	54.1	51.4	45.2	37.8	0.153	0.192	0.224	0.244	0.268	0.290	15.5
4	26.5	59	69.6	66.6	61.4	56.1	54.5	49.9	44.7	0.132	0.166	0.197	0.218	0.244	0.260	16.0
5	27.0	57	69.5	67.4	63.2	58.6	56.6	52.5	48.0	0.115	0.144	0.172	0.193	0.219	0.237	17.5
6	28.0	56	69.5	68.2	64.9	60.3	58.5	54.3	50.0	0.102	0.129	0.152	0.172	0.199	0.217	17.0
7	28.5	56	69.4	65.1	60.2	56.7	55.3	53.2	51.4	0.098	0.119	0.141	0.156	0.173	0.178	16.5

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 17C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 17

0 pa }	Ar Ambiente †		Temperatura (°C)							Teor de Umidade, b.s.						Pressão Estática (mmca)
	T (°C)	UR (%)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	U1	U2	U3	U4	U5	U6	
0	26.0	75	71.8	29.8	27.8	27.4	26.4	28.2	28.9	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	16.5
1	26.5	72	70.9	59.1	45.5	39.5	34.7	32.1	32.0	0.244	0.287	0.316	0.327	0.346	0.358	16.0
2	27.0	70	70.4	62.5	55.1	48.1	46.1	36.6	33.4	0.202	0.246	0.272	0.288	0.319	0.348	15.5
3	28.0	65	70.3	64.4	58.2	54.3	51.2	45.4	38.6	0.169	0.209	0.236	0.250	0.276	0.309	16.0
4	29.0	60	70.1	65.7	60.5	55.9	53.6	49.0	44.4	0.144	0.179	0.208	0.223	0.249	0.279	16.0
5	29.5	57	70.0	66.9	62.7	58.3	56.0	51.7	47.3	0.127	0.156	0.182	0.196	0.224	0.256	17.0
6	30.0	55	70.6	67.3	64.2	59.8	58.0	53.7	49.6	0.115	0.140	0.162	0.174	0.205	0.236	18.0
7	30.0	54	70.2	63.8	58.9	56.1	55.2	53.3	51.4	0.111	0.132	0.152	0.157	0.178	0.193	19.0

† temperatura e umidade relativa

QUADRO 18C - Tempo de Secagem, Temperatura e Umidade Relativa do Ar Ambiente, Temperaturas nos Diversos Pontos do Secador, Teores de Umidade dos Grãos nas Subcamadas e Pressão Estática para as Condições do Teste 18

Tempo (h)	ϕr Ambiente				Temperatura (°C)										Teor de Umidade, b.s.					Pressão Estática (mmca)																																																																										
	θ (°)	UR (%)	T1	T2	C	O	I	05	T6	T7	U1	U2	5	U0	U5	U6																																																																														
																	T3	T4	T5		T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48	T49	T50	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	T69	T70	T71	T72	T73	T74	T75	T76	T77	T78	T79	T80	T81
0	29.0	55	75.1	28.8	27.4	27.0	26.6	27.3	28.5	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	0.332	16.5																																																																												
1	30.0	53	70.2	59.5	46.4	37.9	33.6	31.4	31.3	0.244	0.284	0.314	0.326	0.347	0.353	0.353	0.353	15.5																																																																												
2	31.0	46	70.2	62.9	55.8	48.9	45.0	36.1	32.6	0.205	0.246	0.274	0.292	0.324	0.345	0.345	0.345	15.0																																																																												
3	32.0	43	70.2	64.7	58.8	53.6	51.1	45.5	38.7	0.173	0.208	0.238	0.259	0.286	0.308	0.308	0.308	15.5																																																																												
4	31.0	50	70.1	65.8	61.1	56.3	53.8	49.5	44.9	0.150	0.182	0.208	0.231	0.260	0.279	0.279	0.279	16.5																																																																												
5	30.0	59	70.1	66.4	62.7	58.2	55.9	51.8	48.1	0.135	0.160	0.184	0.208	0.236	0.256	0.256	0.256	17.0																																																																												
6	29.0	66	70.3	67.3	64.2	60.0	58.0	53.5	49.8	0.121	0.146	0.164	0.186	0.219	0.236	0.236	0.236	16.5																																																																												
7	28.0	70	70.1	65.9	58.8	56.0	55.1	53.4	51.3	0.117	0.138	0.154	0.168	0.191	0.194	0.194	0.194	16.5																																																																												

\* temperatura e umidade relativa