

## POTENCIAL DE SECAGEM DE GRÃOS COM AR NATURAL EM BOTUCATU (SP) Comparação entre arroz, feijão, milho, soja e sorgo\*

Vicente Antônio Gonçalves\*\*

Widsney Alves Ferreira\*\*\*

### RESUMO

A secagem de grãos com ar ambiente é um processo dependente das condições climáticas locais, representadas pelos parâmetros básicos temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Para avaliar o potencial de secagem de grãos com ar natural em Botucatu (SP) foi montado um programa que simula as condições de equilíbrio entre o ar ambiente aquecido de 1°C e o grão, supondo-se um sistema de secagem por convecção forçada, sendo empregados como dados de entrada os registros climáticos horários de março a junho de 1971.

A simulação das condições de equilíbrio durante a secagem contínua indicou a impossibilidade de reduzir o teor de umidade da soja, milho, sorgo e feijão aos níveis adequados ao armazenamento seguro durante 1 ano; outrossim, foi demonstrada a possibilidade de viabilização do processo para o arroz, com restrições em alguns períodos ao longo do quadrimestre analisado.

Na simulação das condições previstas para a secagem seletiva, houve indicação de que o teor de umidade pode ser reduzido aos níveis compatíveis com o armazenamento seguro em turnos superiores a 13 horas diárias para o arroz, entre 11 e 13 horas para a soja, podendo superar as 13 horas em períodos menos restritivos, e não superiores a 11 horas diárias para o milho com a impossibilidade de realização do processo nos períodos mais restritivos; os resultados sugerem que mesmo a convecção forçada intermitente nos turnos mais fa-

---

\* Aceito para publicação em junho de 1988.

\*\* Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural - EA-UFG, Caixa Postal 255, Centro, 74000 - Goiânia, GO.

\*\*\* Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural - FCA-UNESP, 18600 - Botucatu, SP.

voráveis à secagem nas condições climáticas analisadas não permite a redução do teor de umidade do sorgo e do feijão a níveis aceitáveis.

Médias da umidade relativa do ar ambiente aquecido de 1°C superiores a 71%, 68% e 61% não permitiram atingir o teor de umidade de equilíbrio desejável para o arroz, soja e milho, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** secagem, ar ambiente, arroz, feijão, milho, soja, sorgo, teor de umidade de equilíbrio.

## INTRODUÇÃO

Resultados de pesquisa têm demonstrado em várias partes do mundo a viabilidade técnica da secagem artificial a baixas temperaturas. No Brasil, onde ocorre o problema da variabilidade climática (climas equatorial, subequatorial, tropical, subtropical, tropical de altitude e semi-árido), ainda não foi determinado o real potencial de secagem do ar ambiente, dificultando o estabelecimento de critérios para o dimensionamento dos sistemas de secagem a baixas temperaturas.

A compreensão da inter-relação entre parâmetros, tais como temperatura de bulbo seco e umidade relativa médias do período efetivo de secagem, teor de umidade de equilíbrio, período de armazenamento seguro e vazões específicas mínimas, é imprescindível ao sucesso dos sistemas de secagem artificial com ar natural (ZACHARIAH & LIPPER, 1966; STROHMAN & YOERGER, 1967; HARRISON, 1969; SHOVE, 1973; BARTSCH & FINNER, 1976; VILLA & BANCHI, 1978; ALDIS & FOSTER, 1980; ROSSI & ROA, 1980; THOMPSON & PIERCE, 1980; BUNN *et alii*, 1981; LASSERÁN, 1981).

Um dos problemas comumente relatados durante a secagem contínua com ar natural é o elevado teor de umidade final do grão em equilíbrio com a umidade relativa e temperatura de bulbo seco médias durante o período de secagem (BUNN *et alii*, 1981; TREIDL, 1974).

Quando as condições climáticas são desfavoráveis, a redução do teor de umidade aos níveis desejáveis ao armazenamento seguro pode ser obtida pela operação seletiva do ventilador e/ou pela adição de calor suplementar (BLOOME & SHOVE, 1972; CONVERSE *et alii*, 1978; BARRET *et alii*, 1981; MOREY *et alii*, 1981). TREIDL (1974) observou a redução de 2 pontos percentuais no teor de umidade de equilíbrio em relação à secagem contínua, quando limitou a operação do ventilador das 6 às 18 horas. KOH & CHUNG (1981), analisando registros climáticos de 10 anos consecutivos na Coreia do Sul concluíram que 75% é a máxima umidade relativa média admissível e sugeriram que a duração média do turno ótimo para a secagem seletiva do arroz com ar natural é de 9 horas diárias.

Neste trabalho, mediante simulação em microcomputador, foi determinado o potencial de secagem com ar natural para o arroz, feijão, milho, soja e sorgo, no município de Botucatu.

### METODOLIGIA

Para a determinação do potencial de secagem de grãos com ar natural em Botucatu (SP), foram obtidos os registros climáticos horários, temperatura de bulbo seco e umidade relativa, dos meses de março a junho do ano de 1971, cujo potencial adiabático de secagem foi o mais drástico dentro de um período de 10 anos analisando (GONÇALVES & FERREIRA, 1986). A estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, em Botucatu (SP), está localizada a 48° 29' 48" de longitude oeste, 22° 53' 22" de latitude sul e 880 m de altitude.

Na simulação foram considerados como teores de umidade de equilíbrio aqueles adequados ao armazenamento seguro para o período de 1 ano (Quadro 1).

As equações 1 e 3 (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1983) foram selecionadas para a determinação do teor de umidade final ou de equilíbrio. A equação 1, recomendada pela ASAE (American Society of Agricultural Engineers), pode ser aplicada a vários produtos (Quadro 2), facilitando o estudo comparativo dos resultados obtidos.

$$T_{Ue} = ((\ln(1-UR))/(-K \times (ts + C)))^{1/N} \dots \dots \dots (1)$$

$$UR = (P_{so} \times U_{Ro})/P_{ss} \dots \dots \dots (2)$$

$$\ln(P_s/R) = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4)/(FT - GT^2) \dots \dots \dots (3)$$

273,16 K ≤ T ≤ 533,16 K

$$T = t + 273,16 \dots \dots \dots (4)$$

- T<sub>Ue</sub> = teor de umidade de equilíbrio ou final, base seca, %;
- UR = umidade relativa média do ar no plenum, decimal;
- ts = temperatura de bulbo seco média do ar no plenum, °C;
- P<sub>so</sub> = pressão de vapor do ar saturado à temperatura de bulbo seco média do ar ambiente, antes de passar pelo ventilador, Pa;
- U<sub>Ro</sub> = umidade relativa média do ar ambiente, antes de passar pelo ventilador, decimal;
- P<sub>ss</sub> = pressão de vapor de ar saturado à temperatura de bulbo seco média, no plenum, Pa;
- P<sub>s</sub> = pressão de vapor de ar saturado à temperatura T (à temperatura de bulbo seco antes do ventilador é P<sub>so</sub> e à temperatura de bulbo seco no plenum é P<sub>ss</sub>), Pa;

T = temperatura, K;

t = temperatura (t pode ser temperatura de bulbo seco  $t_s$  no plenum ou a temperatura de bulbo seco antes do ventilador), °C;

Constantes:

$$A = -27405,526$$

$$C = -0,146244$$

$$E = -4,8502 \times 10^{-8}$$

$$B = 97,5413$$

$$D = 1,2558 \times 10^{-4}$$

$$F = 4,34903$$

$$G = 3,9381 \times 10^{-3}$$

$$R = 22105649,25$$

A temperatura de bulbo seco média do ar no plenum foi admitida igual à temperatura de bulbo seco média do ar ambiente no período de secagem considerado (15 dias) mais o incremento de 1°C (SHOVE, 1973), decorrente do aquecimento do ar pelo ventilador e respectivo motor elétrico, já que foi considerada a ventilação por insuflação.

A operação do ventilador foi suposta contínua ou intermitente. A simulação da secagem seletiva, através da operação intermitente do ventilador, foi realizada em 21 turnos compreendidos ao longo do período entre 8 e 20 h; não foi considerado o período matutino, que antecede as 8 h, porque nele ocorre as condições meteorológicas diárias mais desfavoráveis ao processo de secagem a baixas temperaturas: temperatura de bulbo seco baixa e umidade relativa alta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Quadros 5 a 9 contêm os resultados da análise das condições de equilíbrio entre o ar e o grão, quando a secagem com ar natural foi simulada nas diversas situações propostas: secagem contínua e secagem seletiva com a operação intermitente do sistema de ventilação nos 21 turnos previamente selecionados. Para facilitar a análise comparativa dos teores de umidade final dos diferentes produtos agrícolas considerados, foi adotado o mesmo período de secagem de 15 dias. Considerando que esse fosse o período de armazenamento seguro para o arroz, feijão, milho, soja e sorgo, naturalmente esses produtos agrícolas deveriam apresentar teores de umidade inicial diferenciados nas condições analisadas, já que suas características físicas e biológicas não são as mesmas. Outrossim, uma vez demonstrado que as condições climáticas locais permitiram atingir o teor de umidade compatível com aquele recomendado ao armazenamento seguro pelas normas oficiais vigentes, o segundo passo seria a viabilização técnica do processo mediante a determinação das vazões específicas mínimas para cada produto agrícola, que não foi objeto de estudo ao nível deste trabalho.

A condição prevista à operação contínua do ventilador (Quadros 5 a 9) indicou a impossibilidade de secar a soja, milho, sorgo e feijão aos níveis de-

sejáveis ao armazenamento seguro (Quadro 1). Os incrementos no teor de umidade de equilíbrio do arroz acima do permitido foram inferiores a 1 ponto percentual, sendo que no período de 16 a 30 de maio foi atingida a condição satisfatória à secagem contínua (Quadro 5).

Pela simulação das condições de equilíbrio entre o ar ambiente aquecido de 1°C e o grão, demonstrou-se que a secagem seletiva do arroz pode ser realizada em todos os turnos considerados (Quadro 5). As médias da umidade relativa inferiores a 71% para o ar no plenum combinadas com as médias da temperatura de bulbo seco, constantes no Quadro 3, permitiram atingir o teor de umidade adequado ao armazenamento seguro do arroz nas condições analisadas.

Para a soja (Quadro 6) o melhor turno foi o das 8 às 20 h, com restrição entre 16 e 30 de março, quando as melhores condições ocorreram no turno das 9 às 20 h; também foram restritivos os períodos de 1 a 15 de maio, onde o equilíbrio satisfatório foi observado no turno das 10 às 19 h, e de 1 a 15 de junho, em que o melhor turno foi o das 9 às 20 h. O turno mais longo, onde as condições de equilíbrio permitiram a redução do teor de umidade aos níveis recomendados ao armazenamento seguro, constantes no Quadro 1, foi o critério de seleção adotado na escolha dos turnos mais favoráveis. A simulação das condições de equilíbrio mostraram a possibilidade de atingir o teor de umidade final adequado ao armazenamento seguro da soja, sempre que as médias da umidade relativa forem inferiores a 68%, nas condições de temperatura de bulbo seco constantes no Quadro 3.

O teor de umidade do milho (Quadro 7) desceu ao nível satisfatório no turno das 10 às 18 h de 1 a 15 de março, 10 às 16 h de 16 a 30 de março, 9 às 18 h de 1 a 15 de abril, 10 às 17 h de 16 a 30 de abril, 9 às 19 h de 16 a 30 de maio, e com restrição em todos os turnos diários considerados nos períodos de 1 a 15 de maio e de 1 a 15 de junho. Ar no plenum com umidade relativa média do período de secagem acima de 61%, em combinação com as temperaturas de bulbo seco médias constantes no Quadro 3, não reduziram o teor de umidade do milho ao nível compatível com o armazenamento seguro.

Nas condições propostas e de acordo com os parâmetros meteorológicos vigentes no ano de 1971, foi impossível atingir o teor de umidade de equilíbrio adequado ao armazenamento seguro para o sorgo (Quadro 8) e, em maior grau, para o feijão (Quadro 9).

Os resultados obtidos demonstram claramente que o efeito da temperatura de bulbo seco na redução do potencial de secagem do ar ambiente, à medida que se aproxima do inverno, foi bem mais acentuado que o da umidade relativa sobre as condições de equilíbrio entre o ar e o grão. Entre 1 de março e 15 de junho, as médias da temperatura de bulbo seco sofreram uma queda acentua-

da de 7 a 7,7°C, ao passo que as médias da umidade relativa permaneceram praticamente com valores constantes.

**QUADRO 1-** Teores de umidade adequados ao armazenamento seguro durante 1 ano (OLIVEIRA *et alii*, 1974).

Grão	Teor de umidade %, base úmida
Arroz	14
Feijão <sup>1</sup>	12
Milho	13
Soja	12
Sorgo	12

(1) PUZZI (1973)

**QUADRO 2 -** Valores das constantes para a equação de Henderson modificada 1 (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1983).

Grão	Constantes		
	C	K	N
Arroz	51,161	$1,9187 \times 10^{-5}$	2,4451
Feijão	254,230	$2,0899 \times 10^{-5}$	1,8812
Milho	49,810	$8,6541 \times 10^{-5}$	1,8634
Soja	134,136	$30,5327 \times 10^{-5}$	1,2164
Sorgo	113,725	$0,8532 \times 10^{-5}$	2,4757

**QUADRO 3** - Médias da temperatura de bulbo seco do ar ambiente aquecido de 1°C correspondentes aos meses de março a junho de 1971.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	24,5	24,5	24,5	21,2	19,9	19,7	16,9
8 às 15	24,9	25,0	25,0	21,5	20,3	20,1	17,3
8 às 16	25,2	25,4	25,2	21,8	20,6	20,3	17,6
8 às 17	25,4	25,5	25,4	21,9	20,7	20,4	17,8
8 às 18	25,4	25,4	25,3	21,8	20,7	20,3	17,8
8 às 19	25,2	25,3	25,2	21,6	20,5	20,1	17,7
8 às 20	25,0	25,1	24,9	21,4	20,4	19,9	17,5
9 às 14	25,2	25,2	25,2	21,9	20,5	20,3	17,6
9 às 15	25,6	25,7	25,6	22,2	20,9	20,7	17,9
9 às 16	25,8	26,0	25,9	22,4	21,1	20,9	18,2
9 às 17	25,9	26,1	26,0	22,4	21,2	20,9	18,3
9 às 18	25,8	25,9	25,8	22,2	21,1	20,7	18,3
9 às 19	25,6	25,7	25,6	22,0	20,9	20,5	18,1
9 às 20	25,4	25,5	25,3	21,7	20,7	20,2	17,9
10 às 14	25,8	25,9	25,9	22,4	21,1	20,9	18,2
10 às 15	26,2	26,3	26,2	22,7	21,4	21,2	18,5
10 às 16	26,4	26,6	26,4	22,8	21,6	21,4	18,7
10 às 17	26,4	26,6	26,5	22,8	21,7	21,4	18,8
10 às 18	26,3	26,4	26,3	22,6	21,5	21,1	18,7
10 às 19	26,0	26,1	26,0	22,3	21,2	20,8	18,5
10 às 20	25,7	25,8	25,6	22,0	21,0	20,5	18,2
Contínuo	22,7	23,0	22,5	19,4	18,5	18,0	15,7

(1) O dia 31 não foi considerado.

**QUADRO 4** - Médias da umidade relativa do ar ambiente no plenum correspondentes aos meses de março a junho de 1971.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	71,5	70,9	66,9	66,8	71,8	64,2	70,0
8 às 15	69,4	69,3	65,8	65,8	70,7	63,0	68,6
8 às 16	67,9	68,3	65,0	65,0	69,8	62,2	67,6
8 às 17	67,2	67,9	64,4	64,9	69,3	61,7	66,9
8 às 18	67,2	68,4	64,7	65,4	69,6	62,0	67,1
8 às 19	67,8	69,1	65,3	66,1	70,1	62,5	67,6
8 às 20	68,7	69,8	65,9	67,0	70,8	63,1	68,3
9 às 14	69,0	68,3	64,8	64,3	70,0	62,1	67,4
9 às 15	66,9	66,9	63,8	63,5	69,0	61,0	66,2
9 às 16	65,6	66,0	63,1	62,9	68,2	60,3	65,4
9 às 17	65,0	65,9	62,7	63,1	67,9	60,0	64,9
9 às 18	65,2	66,6	63,2	63,8	68,3	60,5	65,3
9 às 19	66,0	67,5	63,9	64,7	69,0	61,2	66,0
9 às 20	67,2	68,4	64,7	65,8	69,9	62,0	66,9
10 às 14	66,6	66,2	62,9	62,2	68,2	60,4	65,0
10 às 15	64,5	64,9	62,0	61,6	67,3	59,4	63,9
10 às 16	63,4	64,2	61,5	61,2	66,7	58,9	63,3
10 às 17	63,0	64,3	61,3	61,7	66,5	58,7	63,1
10 às 18	63,4	65,2	61,9	62,6	67,2	59,4	63,7
10 às 19	64,5	66,3	62,9	63,7	68,0	60,3	64,6
10 às 20	65,9	67,5	63,9	65,0	69,1	61,2	65,7
Contínuo	77,7	77,3	74,1	74,4	77,2	70,0	75,6

(1) O dia 31 não foi considerado.



**QUADRO 5** - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, do arroz, no final dos processos de secagem contínuo e seletivo a baixas temperaturas.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	13,7	13,6	13,1	13,3	14,1	13,1	14,0
8 às 15	13,4	13,4	12,9	13,1	13,9	12,9	13,8
8 às 16	13,2	13,2	12,8	13,0	13,7	12,8	13,6
8 às 17	13,1	13,2	12,7	13,0	13,7	12,7	13,6
8 às 18	13,1	13,2	12,8	13,1	13,7	12,8	13,6
8 às 19	13,2	13,3	12,9	13,2	13,8	12,8	13,6
8 às 20	13,3	13,5	13,0	13,3	13,9	12,9	13,7
9 às 14	13,3	13,2	12,8	12,9	13,8	12,8	13,6
9 às 15	13,0	13,0	12,6	12,8	13,6	12,6	13,4
9 às 16	12,9	12,9	12,6	12,7	13,5	12,5	13,3
9 às 17	12,8	12,9	12,5	12,8	13,4	12,5	13,3
9 às 18	12,8	13,0	12,6	12,9	13,5	12,5	13,3
9 às 19	12,9	13,1	12,7	13,0	13,6	12,6	13,4
9 às 20	13,1	13,2	12,8	13,1	13,7	12,8	13,5
10 às 14	13,0	12,9	12,5	12,7	13,5	12,5	13,3
10 às 15	12,7	12,7	12,4	12,6	13,4	12,4	13,1
10 às 16	12,6	12,6	12,3	12,5	13,3	12,3	13,0
10 às 17	12,5	12,7	12,3	12,6	13,2	12,3	13,0
10 às 18	12,6	12,8	12,4	12,7	13,3	12,4	13,1
10 às 19	12,7	12,9	12,5	12,8	13,5	12,5	13,2
10 às 20	12,9	13,1	12,7	13,0	13,6	12,6	13,4
Contínuo	14,7	14,6	14,2	14,5	14,9	13,9	14,9

(1) O dia 31 não foi considerado.

**QUADRO 6** - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, da soja, no final dos processos de secagem contínuo e seletivo a baixas temperaturas.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	12,7	12,5	11,6	11,7	13,0	11,2	12,7
8 às 15	12,1	12,1	11,3	11,5	12,7	10,9	12,4
8 às 16	11,8	11,9	11,1	11,3	12,5	10,7	12,1
8 às 17	11,6	11,8	11,0	11,3	12,4	10,6	12,0
8 às 18	11,6	11,9	11,0	11,4	12,4	10,7	12,0
8 às 19	11,7	12,0	11,2	11,5	12,6	10,8	12,1
8 às 20	12,0	12,2	11,3	11,8	12,8	11,0	12,3
9 às 14	12,0	11,9	11,1	11,1	12,5	10,7	12,1
9 às 15	11,5	11,5	10,8	10,9	12,3	10,5	11,8
9 às 16	11,2	11,3	10,7	10,8	12,1	10,3	11,6
9 às 17	11,1	11,3	10,6	10,8	12,0	10,3	11,5
9 às 18	11,1	11,4	10,7	11,0	12,1	10,4	11,5
9 às 19	11,3	11,6	10,9	11,2	12,3	10,5	11,7
9 às 20	11,6	11,9	11,0	11,5	12,5	10,7	11,9
10 às 14	11,4	11,3	10,6	10,6	12,1	10,3	11,5
10 às 15	11,0	11,0	10,4	10,5	11,8	10,1	11,2
10 às 16	10,7	10,9	10,3	10,4	11,7	10,0	11,2
10 às 17	10,6	10,9	10,2	10,5	11,6	10,0	11,0
10 às 18	10,7	11,1	10,4	10,7	11,8	10,1	11,2
10 às 19	11,0	11,4	10,6	11,0	12,0	10,3	11,4
10 às 20	11,3	11,6	10,8	11,3	12,3	10,5	11,6
Contínuo	14,5	14,4	13,5	13,8	14,6	12,7	14,3

(1) O dia 31 não foi considerado.

**QUADRO 7** - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, do milho, no final dos processos de secagem contínuo e seletivo a baixas temperaturas.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	14,5	14,4	13,4	13,9	15,0	13,6	14,9
8 às 15	14,1	14,1	13,4	13,7	14,7	13,4	14,6
8 às 16	13,8	13,8	13,3	13,6	14,5	13,2	14,4
8 às 17	13,6	13,8	13,2	13,6	14,4	13,1	14,3
8 às 18	13,6	13,9	13,2	13,7	14,5	13,2	14,3
8 às 19	13,8	14,0	13,3	13,8	14,6	13,3	14,4
8 às 20	13,9	14,1	13,5	14,0	14,8	13,4	14,6
9 às 14	14,0	13,8	13,2	13,4	14,6	13,2	14,4
9 às 15	13,6	13,6	13,0	13,3	14,4	13,0	14,1
9 às 16	13,3	13,4	12,9	13,2	14,2	12,9	14,0
9 às 17	13,2	13,4	12,8	13,2	14,1	12,8	13,9
9 às 18	13,3	13,5	12,9	13,3	14,2	12,9	14,0
9 às 19	13,4	13,7	13,1	13,5	14,4	13,0	14,1
9 às 20	13,6	13,9	13,2	13,7	14,5	13,2	14,3
10 às 14	13,5	13,4	12,9	13,1	14,2	12,9	13,9
10 às 15	13,1	13,2	12,7	12,9	14,0	12,7	13,7
10 às 16	12,9	13,0	12,6	12,9	13,9	12,6	13,6
10 às 17	12,9	13,1	12,6	12,9	13,9	12,6	13,5
10 às 18	12,9	13,2	12,7	13,1	14,0	12,7	13,6
10 às 19	13,1	13,4	12,9	13,3	14,2	12,9	13,8
10 às 20	13,4	13,7	13,1	13,6	14,4	13,1	14,0
Contínuo	15,9	15,8	15,2	15,5	16,2	14,8	16,2

(1) O dia 31 não foi considerado.

**QUADRO 8** - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, do sorgo, no final dos processos de secagem contínuo e seletivo a baixas temperaturas.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	14,3	14,2	13,7	13,8	14,5	13,5	14,4
8 às 15	14,0	14,0	13,5	13,6	14,3	13,3	14,2
8 às 16	13,8	13,8	13,4	13,5	14,2	13,2	14,0
8 às 17	13,7	13,8	13,3	13,5	14,2	13,2	13,9
8 às 18	13,7	13,9	13,4	13,6	14,2	13,2	14,0
8 às 19	13,8	14,0	13,5	13,7	14,3	13,3	14,0
8 às 20	13,9	14,1	13,5	13,8	14,4	13,4	14,1
9 às 14	13,9	13,8	13,4	13,4	14,2	13,2	14,0
9 às 15	13,7	13,6	13,3	13,3	14,1	13,1	13,8
9 às 16	13,5	13,5	13,2	13,2	14,0	13,0	13,7
9 às 17	13,4	13,5	13,1	13,3	13,9	12,9	13,7
9 às 18	13,4	13,6	13,2	13,4	14,0	13,0	13,7
9 às 19	13,5	13,7	13,3	13,5	14,1	13,1	13,8
9 às 20	13,7	13,9	13,4	13,6	14,2	13,2	13,9
10 às 14	13,6	13,6	13,1	13,2	14,0	13,0	13,7
10 às 15	13,3	13,4	13,0	13,1	13,9	12,9	13,5
10 às 16	13,2	13,3	12,9	13,0	13,8	12,8	13,4
10 às 17	13,1	13,3	12,9	13,1	13,7	12,8	13,4
10 às 18	13,2	13,4	13,0	13,2	13,8	12,9	13,5
10 às 19	13,3	13,6	13,1	13,4	14,0	13,0	13,6
10 às 20	13,5	13,7	13,3	13,5	14,1	13,1	13,8
Contínuo	15,3	15,2	14,8	14,9	15,4	14,3	15,2

(1) O dia 31 não foi considerado.

**QUADRO 9** - Teorés de umidade de equilíbrio, base úmida, do feijão, no final dos processos de secagem contínuo e seletivo a baixas temperaturas.

Turno	Período de secagem (quinzena)						
	Março <sup>1</sup>		Abril		Maio <sup>1</sup>		Junho
	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)	2ª (%)	1ª (%)
8 às 14	14,8	14,7	14,0	14,0	15,0	13,6	14,7
8 às 15	14,4	14,4	13,8	13,9	14,8	13,4	14,4
8 às 16	14,2	14,2	13,6	13,7	14,6	13,3	14,3
8 às 17	14,0	14,1	13,5	13,7	14,5	13,2	14,1
8 às 18	14,0	14,2	13,6	13,8	14,6	13,3	14,2
8 às 19	14,1	14,4	13,7	13,9	14,7	13,3	14,3
8 às 20	14,3	14,5	13,8	14,1	14,8	13,4	14,4
9 às 14	14,3	14,2	13,6	13,6	14,6	13,3	14,2
9 às 15	14,0	14,0	13,4	13,5	14,4	13,1	14,0
9 às 16	13,7	13,8	13,3	13,3	14,3	13,0	13,9
9 às 17	13,6	13,8	13,2	13,4	14,2	12,9	13,8
9 às 18	13,7	13,9	13,3	13,5	14,3	13,0	13,9
9 às 19	13,8	14,1	13,5	13,7	14,4	13,1	14,0
9 às 20	14,0	14,2	13,6	13,8	14,6	13,2	14,1
10 às 14	13,9	13,8	13,3	13,2	14,3	13,0	13,8
10 às 15	13,5	13,6	13,1	13,1	14,1	12,8	13,8
10 às 16	13,3	13,5	13,0	13,1	14,0	12,7	13,5
10 às 17	13,3	13,5	13,0	13,1	14,0	12,7	13,5
10 às 18	13,4	13,7	13,1	13,3	14,1	12,8	13,6
10 às 19	13,5	13,9	13,3	13,5	14,3	12,9	13,7
10 às 20	13,8	14,1	13,4	13,7	14,5	13,1	13,9
Contínuo	16,1	16,0	15,4	15,5	16,1	14,7	15,8

(1) O dia 31 não foi considerado.

## CONCLUSÕES

Nas condições climáticas de Botucatu (SP), o estudo da possibilidade de realização da secagem com ar natural do arroz, feijão, milho, soja e sorgo, através da simulação das condições de equilíbrio entre o ar e o grão, permitiu chegar às seguintes conclusões:

1) a convecção forçada contínua do ar ambiente com aquecimento de 1°C não permitiu a redução dos teores de umidade do feijão, milho, soja e sorgo aos respectivos níveis compatíveis ao armazenamento seguro durante 1 ano, havendo indicação de que o processo seja adequado ao arroz, embora com restrições em alguns períodos do quadrimestre considerado;

2) existe a possibilidade de realização da secagem seletiva com ar ambiente aquecido de 1°C do arroz, em turnos superiores a 13 horas diárias, da soja, com turnos entre 1 e 13 horas diárias, podendo superar as 13 horas nos períodos menos restritivos, e do milho, em turnos não superiores a 11 horas diárias, havendo impossibilidade de realizar o processo nos períodos mais restritivos;

3) é impossível reduzir o teor de umidade do sorgo e do feijão, em maior grau, aos níveis recomendados ao armazenamento seguro, mesmo quando é realizada a convecção forçada intermitente do ar ambiente aquecido de 1°C;

4) médias da umidade relativa do ar ambiente aquecido de 1°C superiores a 71%, 68% e 61% para o arroz, soja e milho, respectivamente, indicam a impossibilidade de redução de seus teores de umidade aos níveis compatíveis com o armazenamento seguro;

5) a média mínima de 58,7% da umidade relativa do ar ambiente aquecido de 1°C, verificada no quadrimestre, não permitiu atingir os teores de umidade de equilíbrio desejáveis ao armazenamento seguro para o sorgo e feijão;

6) com a aproximação do inverno o potencial de secagem do ar ambiente é reduzido, decorrência da queda progressiva da temperatura de bulbo seco.

## ABSTRACT

### GRAIN DRYING POTENTIAL WITH NATURAL AIR IN BOTUCATU (SP)

Computer simulation was used to determine ambient air grain drying potential in Botucatu (São Paulo State) based on equilibrium moisture content for safe storage for one year. Hourly weather records, dry bulb temperature and relative humidity, from March to June, 1971, were used as input data for the

simulation program. The same 1°C temperature rise due to drawing the air over the fan motor was assumed.

Results showed that ambient air grain drying systems operating continuously aren't feasible to reduce the moisture content of soybeans, corn, sorghum and edible beans to the moisture levels recommended for safe storage.

Simulation procedure using continuous fan operation also indicated the feasibility to dry rough rice in spite of restriction within some periods along of four analysed months.

Selective ambient air drying, based on restricting fan operation to daily hours when the drying potential of the air is highest, indicated a decreasing ambient air drying feasibility in the following sequence: rough rice, with daily fan operation above 13 hours in less restrictive periods, and corn, with selective drying process accomplishing below 11 hours, being unfeasible to achieve in more restrictive periods. In this procedure wasn't possibility to reduce equilibrium moisture content of the grain sorghum and edible beans to levels for safe storage.

Average relative humidity higher than 71%, 68% and 61% didn't allow to achieve equilibrium moisture content levels for safe storage for rough rice, soybeans and corn, respectively.

**KEY-WORDS:** drying, ambient air, rough rice, edible beans, corn, soybeans, grain sorghum, equilibrium moisture content.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK. 30. ed. Saint Joseph, ASAE - Amer. Soc. of Agr. Eng., 1983. 853 p.
- ALDIS, D. F. & FOSTER, G. H. Moisture changes in grain from exposure to ambient air. *Trans. of the ASAE*, 23(3): 753-60, 1980.
- BARRETT, J. R.; OKOS, M. R.; STEVENS, J. B. Simulation of low temperature wheat drying. *Trans. of the ASAE*, 24(4): 1042-46, 1981.
- BARTSCH, J. A. & FINNER, M. F. A low temperature grain drying experiment in an artificially reproduced environment. *Trans. of the ASAE*, 19(2): 378-81, 1976.
- BLOOME, P. D. & SHOVE, G. C. Simulation of low temperature drying of shelled corn leading to optimization. *Trans. of the ASAE*, 15(2): 310-6, 1972.
- BUNN, J. M.; LEA Jr., W. R.; HAMMOND, G. Potential for ambient air drying in South Carolina. *Trans. of the ASAE*, 24(1): 227-32, 1981.

- CONVERSE, H. H.; FOSTER, G. H.; SAUER, D. B. Low temperature grain drying with solar heat. *Trans. of the ASAE*, 21(1): 170-5, 1978.
- GONÇALVES, V. A. & FERREIRA, W. A. Potencial de secagem do milho a granel com ar natural em Botucatu. *Energia na Agr.*, 1(1): 33-48, 1986.
- HARRISON, H. P. Air volume for drying grain. *Canadian Agr. Eng.*, 2: 58-61, 1969.
- KOH, H. K. & CHUNG, C. J. Solar and natural air drying of rough rice in Korea. In: \_\_\_\_\_ *Food drying*. Ottawa, Intern. Development Research Center, 1981. p. 81-8.
- LASSERAN, J. C. *Aeração de grãos*. Viçosa, CENTREINAR, 1981.
- MOREY, R. V.; GUSTAFSON, R. J.; CLOUD, H. A. Combination high-temperature, ambient-air drying. *Trans. of the ASAE*, 24(2): 509-12, 1981.
- OLIVEIRA, L. C. H. de; MERCH, R. V.; LENZ, J. M.; LIMA FILHO, P. R.; SOARES, F. N. *Grãos: beneficiamento e armazenagem*. Porto Alegre, Sulina, 1974. 148 p.
- PUZZI, D. *Conservação dos grãos armazenados*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1973.
- ROSSI, S. J. & ROA, G. *Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural*. São Paulo, Acad. de Cien. do Estado de São Paulo, 1980. 295 p.
- SHOVE, G. C. New techniques in grain conditioning. In: SINHA, R. N. & MUIR, W. E. *Grain storage: part of a system*. Westport, The AVI Publishing Company, 1973. p. 209-28.
- STROHMAN, R. D. & YOERGER, R. R. A new equilibrium moisture-content equation. *Trans. of the ASAE*, 10(5): 675-7, 1967.
- THOMPSON, T. L. & PIERCE, R. O. Solar grain drying management. *Agr. Energy*, 1: 25-30, 1980.
- TREIDL, R. A. Corn drying in Canada using ambient air. *Canadian Agr. Eng.*, 16: 96-102, 1974.
- VILLA, L. G. & BANCHI, A. D. Vazões mínimas na secagem com ar ambiente em silos da soja industrial e semente na região de Campinas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agronômica, 8, Botucatu, 1978. *Anais...*, Botucatu, Soc. Brasil. de Eng. Agr., 1978. p. 353-69.
- ZACHARIAH, G. L. & LIPPER, R. I. Weather data as pertaining to crop drying. *Trans. of the ASAE*, 9(2): 261-4. 1966.