

POTENCIAL DE SECAGEM DO MILHO A GRANEL COM AR NATURAL EM BOTUCATU, SP.¹

Vicente A. Gonçalves*

ABSTRACT

Grain drying using ambient was simulated under weather conditions in Botucatu.

Hourly weather records, dry bulb temperature and relative humidity, from 1971 through 1975 and from 1977 through 1981, were used to calculate adiabatic drying potential of the ambient air. Historical weather records from 1971 were selected to simulate ambient air corn drying.

(1) Recebido para publicação em Novembro de 1.984.

(*) Professor Assistente, nível 4, do Departamento de Engenharia Rural da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus de Goiânia, Goiânia, GO.

(**) Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

Ambient air corn drying systems operating continuously are not feasible to reduce the moisture content of the grain to the moisture levels recommended for safe storage. Selective fan operation, from 9 a. m. to 5 a. m., from 9 a. m. to 6 p. m. and from 8 a. m. to 6 p. m., indicates the possibility to reduce corn moisture contents, wet basis, to levels between 12.1 and 17.3 percent for 22 percent initial moisture content, between 12.4 and 15.5 percent for 20 percent initial moisture content and between 13.1 and 14.7 percent for 18 percent initial moisture content, when corn is dried within allowable storage period.

KEY-WORDS: drying, ambient air, corn, equilibrium moisture content.

RESUMO

A secagem de grãos com ar natural é um processo dependente das condições climáticas locais, constantemente oscilantes no tempo. Através do emprego de modelos matemáticos de simulação foi avaliada a possibilidade de realização da secagem do milho a granel com ar natural para as condições climáticas de Botucatu, com base nos registros horários de temperatura de bulbo seco e umidade relativa dos anos de 1971 a 1975 e de 1977 a 1981.

O processo contínuo de secagem do milho com ar natural, noas condições analisadas, não permite a redução do teor de umidade final ao nível recomendado ao armazenamento seguro. A simulação da secagem intermitente, realizada nos períodos das 9 às 17 h., 9 às 18 h. e 8 às 18 h., indica a possibilidade de redução do teor de umidade do milho, base úmida, a nível entre 12,1 e 17,3%, para o teor de umidade inicial de 22%, entre 12,4 e 15,5%, para o teor de umidade inicial de 20% e entre 13,1 e 14,7% para o de 18%, quando realizada a secagem no período máximo admissível.

PALAVRAS CHAVES. secagem, ar natural, milho, teor de umidade de equilíbrio.

INTRODUÇÃO

A proibição do emprego dos derivados do petróleo na secagem de grãos e os custos crescentes advindos da intensificação do emprego da lenha como combustível têm estimulado o interesse por outras fontes de energia.

A secagem de grãos com ar natural tem sido amplamente pesquisada nos países de clima temperado e tem mostrado ser viável aos pequenos e médios produtores, com um consumo de energia (empregada apenas para acionar o sistema de ventilação) inferior ao dos sistemas de secagem a altas temperaturas. No Brasil alguns experimentos têm demonstrado sua viabilidade técnica, entretanto existe carência de conhecimentos básicos sobre o real potencial de secagem do ar ambiente. O problema da variabilidade climática (climas equatorial, subequatorial, tropical, subtropical, tropical de altitude e semi-árido), conjugado à falta de conhecimento do comportamento dos parâmetros climáticos das diversas regiões representativas produtoras de grãos, dificulta o estabelecimento de normas ao dimensionamento dos sistemas de secagem a baixas temperaturas.

O sucesso dos sistemas de secagem com ar natural ou ligeiramente aquecido depende do conhecimento perfeito do comportamento dos parâmetros climáticos básicos, temperatura de bulbo seco e umidade relativa, que oscilam constantemente no tempo e no espaço, e sua correlação com o período de armazenamento seguro do grão (ZACHARIAH & LIPPER, 1966; HARRISON, 1969; BLOOME & SHOVE, 1971; SHOVE, 1973; BARISCH & FINNER, 1976; VILLA & BANCHI, 1978; THOMPSON & PIERCE, 1980; BUNN *et alii*, 1981).

Vários pesquisadores têm ressaltado a importância do teor de umidade de equilíbrio na secagem realizada com vazões específicas reduzidas (STROHMAN & YOERGER, 1967; CHEN, 1971; ROSS *et alii*, 1973; ALDIS & FOSTER, 1980; ROSSI & ROA, 1980; LASSERAN, 1981). Sendo o grão higroscópico, perde ou recebe umidade, conforme esteja em contato com o ar ambiente mais seco ou mais úmido, respectivamente. Cada produto apresenta u-

ma pressão de vapor a dado teor de umidade e temperatura. Caso a pressão de vapor do grão seja superior à do ar ambiente, aquele perde umidade até o momento em que as respectivas pressões de vapor tenderem à igualdade, ocorrendo assim o equilíbrio, definido pela umidade relativa e temperatura médias do período de contato.

O vapor d'água, liberado pelo grão durante o processo de secagem, em geral, não é suficiente para provocar a saturação do ar (SAUL & LIND, 1958; ZACHARIAH & LIPPER, 1966). Apenas parte da depressão de bulbo úmido (diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido) permanece disponível durante a secagem. Portanto, o potencial de secagem do ar fica limitado pela temperatura de equilíbrio tg. (ou temperatura do grão), que é função da umidade relativa em equilíbrio com o teor de umidade inicial do grão (Figs. 1 e 2).

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 médias durante o período de secagem.

BUNN et alii (1981) constataram, em testes de simulação, que o milho seco nas condições climáticas vigentes em algumas localidades da Carolina do Sul não pode ser armazenado durante longos períodos, uma vez que a temperatura e umidade relativa médias do ar ambiente durante a secagem indicam teores de umidade de equilíbrio sempre superiores a 14% (base úmida).

TREIDL (1974), com base nos registros climáticos de 10 anos de algumas regiões representativas do Canadá, obteve para o milho teores de umidade de equilíbrio sempre superiores a 14% (base úmida) para a secagem contínua com ar natural; limitando a operação do ventilador das 6 às 18 horas, observou redução de até 2 pontos de porcentagem no teor de umidade de equilíbrio em relação à operação contínua.

De acordo com CONVERSE et alii (1978), a taxa de secagem a baixas temperaturas, quando as condições climáticas são desfavoráveis, não é suficiente à redução do teor de umidade aos níveis desejáveis ao armazenamento seguro, necessitando de calor suplementar.

BARRETT et alii (1981), através de simulação da secagem de trigo, concluíram que para reduzir o teor de umidade

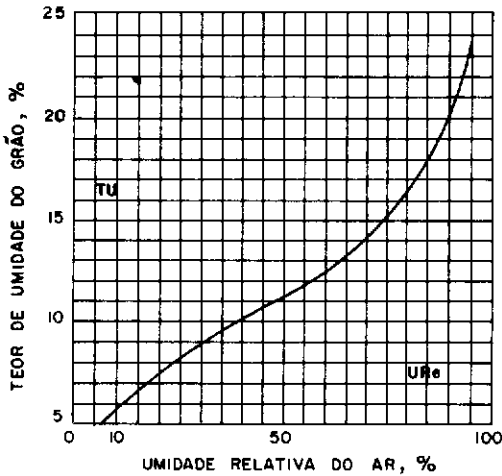


FIGURA 1 - Curva de equilíbrio entre o ar e o milho à temperatura média de 20°C (LASSERAN, 1981); TU = teor de umidade do grão (% base úmida) e URe = umidade relativa de equilíbrio (%).

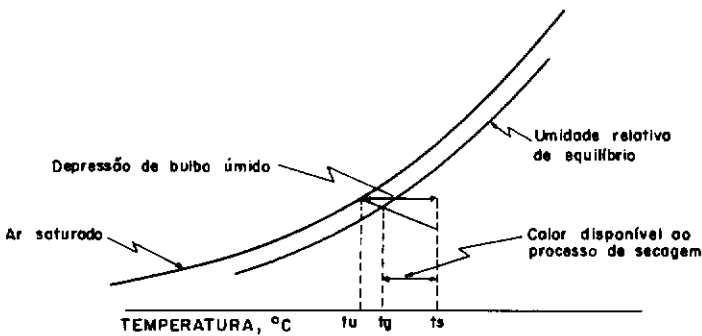


FIGURA 2 - Mudanças na temperatura durante a secagem de camada espessa com ar natural (BROOKER et alii, 1974).

de equilíbrio abaixo de 14,5%, base úmida, é necessário a operação seletiva do ventilador ou a adição de calor.

MOREY et alii (1981), mediante experimentos de campo e simulação, demonstram que o controle da umidade relativa, por umidistato, a partir do instante em que a frente de 'secagem atinge a camada superior, reduz o consumo de energia' em comparação com a operação contínua. Entretanto, observaram que, à proporção que a umidade relativa do ar ambiente decresce, a diferença entre os teores de umidade das camadas superior e inferior aumenta.

BLOOME & SHOVE (1972) verificaram que o aumento da temperatura do ar ambiente é importante na redução do teor de umidade final do grão. Salientam que para cada 1,7°C de incremento na temperatura corresponde uma redução em torno de 1% no teor de umidade do milho. SHOVE (1973) relata incrementos de temperatura em torno de 1°C para a maioria dos ventiladores. Segundo METZGER et alii (1980), a significância do aumento de temperatura do ar, provocado pelo contato com o ventilador e respectivo motor elétrico, depende da vazão específica, das condições do ar ambiente e do período de ventilação.

GUSTAFSON et alii (1978) concluíram que a secagem do milho em combinação reduz significativamente o nível de danos mecânicos, afeta menos a porcentagem de germinação e incrementa o peso específico. O processo consiste na aplicação da secagem a baixas temperaturas ao produto com teor de umidade igual ou superior a 18%, base úmida, complementar à secagem a altas temperaturas. Segundo MOREY et alii (1981), a secagem em combinação reduz o consumo de energia e aumenta a capacidade do sistema de secagem, quando comparada à secagem convencional a altas temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O potencial adiabático de secagem do ar ambiente (Fig. 3) corresponde à diferença entre a quantidade de vapor d'água contido no ar nas condições atuais de temperatura e umidade relativa e a que ele poderia reter, quando saturado à temperatura de bulbo úmido (BUNN et alii, 1981). Para determi

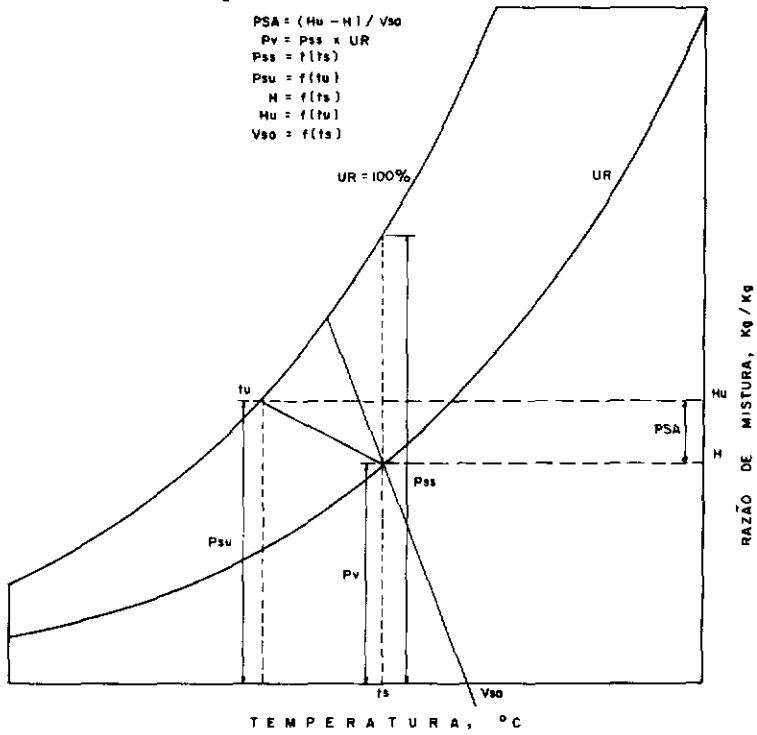


FIGURA 3 - Potencial adiabático de secagem do ar ambiente (PSA).

ná-lo foram empregados os registros horários de temperatura ' de bulbo seco e umidade relativa do ar, obtidos num período ' de 10 anos na estação meteorológica localizada na Faculdade de Ciências Agrônômicas em Botucatu, Estado de São Paulo, a 48° 29' 48" de longitude oeste, 22° 53' 22" de latitude sul e 880m de altitude. Foram analisados os dados correspondentes aos meses de março, abril, maio e junho, 122 dias, ao longo do período selecionado (1971 a 1975 e 1977 a 1981).

Empregando-se as equações psicrométricas básicas (A GRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1983), foi desenvolvido um mo delo de computação para calcular o potencial adiabático de se cagem do ar (equações 3.1 a 3.9).

$$PSA = (Hu - H)/Vsa \dots\dots\dots(3.1)$$

255,38 K T 533,16 K

$$(P_{su} - P_v) - I \times (T_u - T_s) = 0 \dots\dots\dots(3.2)$$

255,38 K T 533,16 K

$$Hu = (0,6219 \times P_{su}) / (P_{atm} - P_{su}) \dots\dots\dots(3.3)$$

255,38 K T_u 533,16 K

$$H = (0,6219 \times P_v) / (P_{atm} - P_v) \dots\dots\dots(3.4)$$

255,38 K T_s 533,16 K

$$Vsa = (287 \times T_s) / (P_{atm} - P_v) \dots\dots\dots(3.5)$$

255,38 K T_s 533,16 K

$$I = (1006,9254 \times (P_{su} - P_{atm}) \times (1 + 0,15577 \times P_v / P_{atm})) / (0,62194 \times hu) \dots\dots\dots(3.6)$$

255,38 K T 533,16 K

$$\ln(P_s/R) = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) / (FT - GT^2) \dots\dots\dots(3.7)$$

273,16 K T 533,16 K

$$P_v = UR \times P_{ss} \dots\dots\dots(3.8)$$

273,16 K T_s 533,16 K

$$hu = 2502535,259 - 2385,76424 \times (T_u - 273,16) \dots\dots\dots(3.9)$$

273,16 K T_u 338,72 K

PSA = potencial adiabático de secagem, Kg de vapor por m³ de ar úmido;

H = razão de mistura à temperatura de bulbo seco, Kg de vapor por Kg de ar seco;

Hu = razão de mistura à temperatura de bulbo úmido, Kg de vapor por Kg de ar seco;

h_u = calor latente de vaporização da água à temperatura de bulbo úmido, $J.Kg^{-1}$;

Pat_m = pressão atmosférica média local, 93 256 Pa;

P_s = pressão de vapor do ar saturado à temperatura T (à temperatura de bulbo seco T_s é P_{ss} e à temperatura de bulbo úmido T_u é P_{su}), Pa;

P_v = pressão atual de vapor, Pa;

T = temperatura (T_s é a temperatura de bulbo seco e T_u é a temperatura de bulbo úmido), K;

UR = umidade relativa, decimal;

V_{sa} = volume específico à temperatura de bulbo seco, m^3 de ar úmido por Kg de ar seco;

$$A = -27405,526$$

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

$$B = 97,5413$$

$$F = 4,34903$$

$$C = -0,146244$$

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

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

$$R = 22105649,25$$

A equação 3.2 permite, por processo iterativo, a estimativa da temperatura de bulbo úmido, T_u , com base nos parâmetros independentes, temperatura de bulbo seco e umidade relativa, horários, e na pressão atmosférica média do período analisado.

O potencial adiabático de secagem do ar ambiente, de cada um dos 10 anos do período analisado, permitiu a seleção do ano em que as condições climáticas foram as mais desfavoráveis ao processo de secagem de grãos. Os parâmetros climáticos, temperatura de bulbo seco e umidade relativa, serviram de base à determinação do potencial de secagem com ar natural do milho a granel, em Botucatu.

Os sistemas de secagem a baixas temperaturas devem ser planejados de modo que o tempo máximo de operação do ventilador não exceda o período de armazenamento seguro (SHOVE, 1973).

Considerando-se para o milho os teores de umidade inicial (base úmida) de 22%, 20% e 18%, a Fig. 4 possibilita a estimativa do tempo de armazenamento seguro de aproximadamente 7, 11 e 29 dias, respectivamente. Nesse estudo a temperatura escolhida para o estabelecimento do período máximo de seca

gem foi de 23,4°C, média do mês de março de 1975, a mais elevada do período analisado.

De acordo com FINCH *et alii* (1980), o milho deve ser colhido com teor de umidade entre 18 e 25% (base úmida), para que sejam minimizadas as perdas e quando houver possibilidade de realização da secagem artificial.

Através da zona de secagem (Fig. 5) ocorre o gradiente de umidade, variando a partir do teor de umidade inicial até o teor de umidade de equilíbrio ou final.

O teor de umidade inicial é conhecido e o teor de umidade de equilíbrio é obtido pela equação de HENDERSON modificada (AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK, 1983).

$$TUE = ((\ln(1 - UR))/(-K \times (ts + C)))^{1/N} \dots\dots\dots(3.10)$$

TUE = teor de umidade de equilíbrio ou final, base seca, porcentagem;

UR = umidade relativa média do ar no plenum, decimal;

ts = temperatura de bulbo seco média do ar no plenum, °C;

C = 49,810, K = 8,654 x 10⁻⁵, N = 1,8634 (C, K e N são constantes para o milho).

A temperatura do ar no plenum ts, corresponde à temperatura de bulbo seco médio do ar ambiente no período de secagem considerado, acrescida de 1°C (SHOVE, 1973), decorrente do aquecimento do ar pelo ventilador e respectivo motor elétrico, já que a ventilação é realizada por insuflação.

A umidade relativa média do período é determinada pela equação 3.11. O aumento da temperatura de bulbo seco sem o acréscimo de vapor d'água implica na manutenção da pressão de vapor atual constante, ao passo que a pressão de vapor do ar saturado aumenta de P_{sso} para P_{ss}, incrementando-se a capacidade de retenção de umidade do ar.

$$UR = (P_{sso} \times UR_o) / P_{ss} \dots\dots\dots(3.11)$$

UR = umidade relativa média do ar ambiente, no plenum, decimal;

P_{sso} = pressão de vapor do ar saturado à temperatura de bulbo seco média do ar ambiente, antes de passar pelo ventilador, Pa;

UR_o = umidade relativa média do ar ambiente, antes de passar pelo ventilador, decimal;

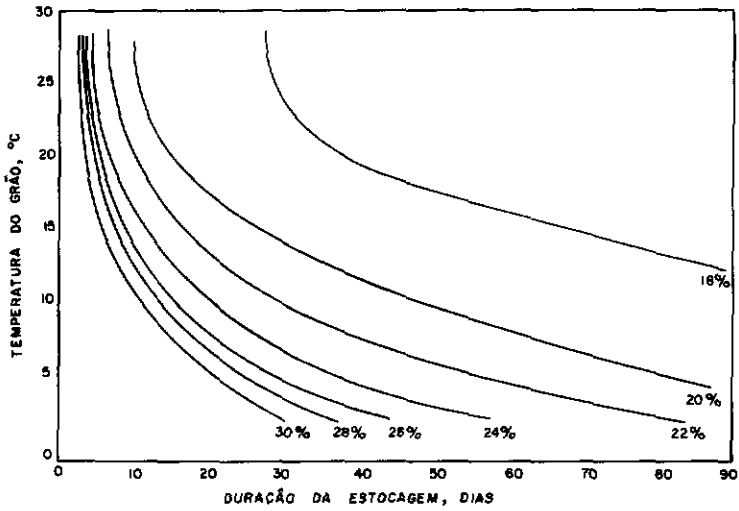


FIGURA 4 - Tempo de armazenamento seguro para o milho (Thompson, 1972, apud ROSSI & ROA, 1980).

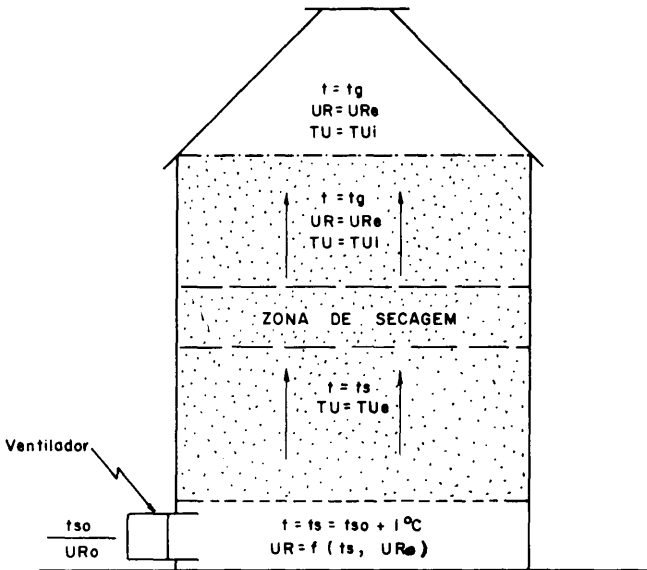


FIGURA 5 - Processo de secagem em camada fixa (BROOKER et alii, 1974).

Pss = pressão de vapor do ar saturado à temperatura de bulbo' seco média, no plenum, Pa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para o potencial adiabático de secagem do ar ambiente (tabela 1) permitiram a seleção dos pa râmetros climáticos do ano de 1971 para a simulação da seca - gem com ar natural dentro do período de 10 anos considerado. Entre os anos de 1971 a 1975 e 1977 a 1981, o de 1971 apresen tou a mais baixa capacidade de retenção de vapor d'água no pro cesso de saturação adiabático: 3,146 727 Kg de vapor por m³ ' de ar ambiente durante os 122 dias dos meses de março, abril, maio e junho. O baixo potencial adiabático de secagem do ar ambiente é um indicador de que as condições climáticas do ano considerado são as mais desfavoráveis à secagem de grãos em Botucatu, possibilitando maior margem de acerto das previsões feitas durante a simulação.

As tabelas 2 a 8 contêm os resultados da análise das condições de equilíbrio, quando o milho é submetido ao proce so de secagem com ar natural nas diversas situações propostas secagem contínua e secagem inermite, aos teores de umidade inicial, base úmida, de 22%, 20% e 18%.

A operação contínua do ventilador nas condições ana lisadas (tabela 5) indica a impossibilidade de secar o milho a té o nível desejável ao armazenamento seguro (em torno de 13%, base úmida, para um ano, conforme recomenda OLIVEIRA et alii , 1974). Os teores de umidade de equilíbrio (ou teores de umida de no final do processo de secagem) elevados são decorrentes' da baixa capacidade de secagem do ar ambiente dentro dos perí odos considerados, evidenciada pelas médias altas da umidade' relativa do ar no plenum (tabelas 2, 3 e 4): 70,6% a 83,2% pa ra o tempo máximo de secagem contínua de 7 dias, 72,1% a 79,0% para o de 11 dias e 74,8% a 77,6% para o de 29 dias. A maior amplitude de variação da umidade relativa média, para o período de secagem de 7 dias, e a menor, para os períodos ' mais longos, refletem diretamente no teor de umidade final do produto, indicando serem os períodos longos mais favoráveis ao processo de secagem com ar natural.

Comparando-se os resultados obtidos nos diferentes períodos analisados, constata-se que, para os períodos de secagem mais longos, são obtidos teores de umidade de equilíbrio com extremos de menor amplitude e em torno dos níveis recomendados ao armazenamento seguro (12 a 14%, base úmida). No caso, o efeito dos períodos breves de condições climáticas adversas é arrefecido pelas condições favoráveis à secagem dos períodos mais longos. Como sugerem MOREY et alii (1978) e LOEWER et alii (s.d.), fica assim evidenciada uma das desvantagens da secagem a baixas temperaturas do milho com teor de umidade acima de 20%, base úmida.

É evidente o aumento do teor de umidade de equilíbrio à medida que os períodos de secagem são deslocados de março para junho (tabelas 6, 7 e 8). Visto que não ocorre variação significativa entre as médias da umidade relativa ao longo do período analisado (março, abril, maio e junho), o fato é decorrente do arrefecimento da temperatura, provocando queda no potencial de secagem do ar ambiente (tabela 1). Sendo desvantajosa a queda natural da temperatura, quando as condições higrométricas não sofrem variações significativas, é desejável a adição de calor suplementar no sentido de incrementar o potencial de secagem do ar ambiente. O aumento da temperatura de apenas 1°C, provocado pelo sistema de ventilação, causa uma queda na umidade relativa de 3,4 a 5,6% (tabelas 2, 3 e 4) com a conseqüente redução do teor de umidade de equilíbrio do milho entre 0,9 e 1,6 pontos percentuais (tabela 5).

A secagem seletiva, realizada nos horários diurnos em que as condições do ar ambiente são mais favoráveis ao processo, permite a redução do teor de umidade do milho ao nível recomendado ao armazenamento seguro, de acordo com a verificação dos resultados contidos nas tabelas 6, 7 e 8. Considerando-se tão somente o teor de umidade de equilíbrio do milho (tabelas 6, 7 e 8), no horário das 8 às 18 h. as condições climáticas são mais desfavoráveis ao processo de secagem que nos dois outros horários diurnos analisados. O potencial de secagem do ar ambiente inferior no horário das 8 às 18 h. é decorrente da influência da queda na temperatura e do incremento na umidade relativa nas primeiras horas da manhã. Caso o propósito seja o de secar mais o produto, o período a partir das 9 h é o mais indicado.

CONCLUSÕES

Nas condições analisadas, o estudo da possibilidade de realização da secagem com ar natural, em Botucatu, permitiu chegar às seguintes conclusões:

1. É impossível a secagem contínua do milho com ar natural até o teor de umidade recomendado ao armazenamento seguro.

2. A secagem seletiva nos períodos diários em que as condições atmosféricas são mais favoráveis (temperatura de bulbo seco mais elevada e umidade relativa mais baixa) permite atingir teores de umidade de equilíbrio próximo aos recomendados ao armazenamento seguro.

3. Teores de umidade inicial mais baixos aumentam a flexibilidade do sistema de secagem, visto que o tempo de secagem admissível é aumentado.

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

LITERATURA CITADA

- AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK. 30^a edição. Sanit Joseph. American Society of Agricultural Engineers, 853 p., 1983.
- ALDIS, D.F. & FOSTER, G.H. Moisture changes in grain from exposure to ambient air. Transactions of The ASAE, 23(3) : 753-60, 1980.
- BARRETT, J.R.; OKOS, M.R.; STEVENS, J.B. Simulation of low temperature wheat drying. Transactions 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. Transactions of the ASAE, 19(2):378-81, 1976.

- BLOOME, P.D. & SHOVE, G.C. Near equilibrium simulation of shelled corn drying. Transactions of the ASAE, 14(4):709 - 12, 1971.
- BLOOME, P.D. & SHOVE, G.C. Simulation of low temperature drying of shelled corn leading to optimization. Transactions of the ASAE, 15(2):310-16, 1972.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Introductory analysis of fixed bed drying systems. In: Drying cereal grains. Westport, the AVI Publishing Company, Cap. 6, p130-39, 1974.
- BUNN, J.M.; LEA Jr., W.R.; HAMMOND, G. Potential for ambient air drying in South Carolina. Transactions of the ASAE, 24(1):227-32, 1981.
- CHEN, C.S. Equilibrium moisture curves for biological materials. Transactions of the ASAE, 14(5):924-26, 1971.
- CONVERSE, H.H.; FOSTER, G.H.; SAUER, D.B. Low temperature grain drying with solar heat. Transactions of the ASAE, (1):170-75, 1978.
- FINCH, E.O.; COELHO, A.M.; BRANDINI, A. Colheita do milho. In: forme Agropecuário, 6(72):61-66, 1980.
- GUSTAFSON, R. J.; MOREY, R.V.; CHRISTENSEN, C.M.; MERONUCK, R.A. Quality changes during high-low temperature drying. Transactions of the ASAE, 21(1):162-69, 1978.
- HARRISON, H.P. Air volume for drying grain. Canadian Agriculture Engineering, 2:58-61, 1969.
- LASSERAN, J.C. Aeração de grãos. Viçosa, CENIREINAR, 1981.
- LOEWER Jr., O. J.; OVERHULTS, D.G.; HAMILTON, H.E. Low temperature drying - use and limitations. University of Kentucky, AEN-23, s. d. 3 p., 19.

- METZGER, J.F.; TERRY, P.D.; MUIR, W.E. Performance of several axial-flow fans for grain bin ventilation. In: ANNUAL AIC CONFERENCE, 60, Edmonton, 80-105, Winnipeg, Canadian Society of Agricultural Engineering, 80-105, 1980.
- MOREY, R.V.; GUSTAFSON, R.J.; CLOUD, H.A. Combination high - temperature, ambient-air drying. Transactions of the ASAE, 24(2):509-12, 1981.
- MOREY, R.V.; GUSTAFSON, R.J.; CLOUD, H.A.; WALTER, K.L. Energy requirements for high-low temperature drying. Transactions of the ASAE, 21(3):562-67, 1978.
- ROSS, I.J.; HAMILTON, H.E.; WHITE, G.M. Principles of grain storage. University of Kentucky, AEN-20, 10 p., 1973.
- ROSSI, S.J. & ROA, G. Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 295 p., 1980.
- SAUL, R.A. & LIND, E.F. Maximum time for safe drying of grain with unheated air. Transactions of the ASAE, 1(1):29-33, 1958.
- 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, 209-28 p., 1973.
- STROHMAN, R.D. & YOERGER, R.R. A new equilibrium moisture - content equation. Transactions of the ASAE, 10(5):675-77, 1967.
- THOMPSON, T.L. & PIERCE, R.O. Solar grain drying management. Agricultural Energy, 1:25-30, 1980.
- TREIDL, R.A. Corn drying in Canada using ambient air. Canadian Agricultural Engineering, 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: Anais DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 8, Botucatu, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 353-69, 1978.

ZACHARIAH, G.L. & LIPPER, R.I. Weather data as pertaining to crop drying. Transactions of the ASAE, 9(2):261-64, 1966.

TABELA 1 - Potencial adiabático de secagem do ar ambiente em Botucatu (Estado de São Paulo).

Períodos	PSAs mensais (Kg.m ⁻³)		PSA anual (Kg.m ⁻³)		Períodos	PSAs mensais (Kg.m ⁻³)		PSA anual (Kg.m ⁻³)	
1971	MAR	0,810	448			MAR	0,879	870	
	ABR	0,866	369			ABR	0,753	879	
	MAI	0,778	596		1977	MAI	0,753	879	
	JUN	0,691	314	3,146	727	JUN	0,688	796	3,200 129
1972	MAR	0,936	930			MAR	0,981	531	
	ABR	0,816	382		1978	ABR	1,167	561	
	MAI	1,132	379		MAI	1,062	954		
	JUN	1,328	517	4,214	008	JUN	1,035	150	4,247 196
1973	MAR	0,799	819			MAR	1,044	169	
	ABR	0,648	515			ABR	1,033	935	
	MAI	0,826	485		1979	MAI	1,014	686	
	JUN	0,899	305	3,174	124	JUN	1,175	135	4,267 925
1974	MAR	0,638	461			MAR	1,381	868	
	ABR	0,790	516			ABR	0,994	966	
	MAI	1,024	011		1980	MAI	1,224	016	
	JUN	0,701	753	3,154	741	JUN	1,182	948	4,783 798
1975	MAR	1,079	065			MAR	1,147	912	
	ABR	1,071	855			ABR	1,164	095	
	MAI	1,035	037		1981	MAI	1,248	133	
	JUN	0,781	587 ^a	3,967	544	JUN	1,130	451	4,690 591

^a Não estão incluídos os PSAs dos dias 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 do mês de junho de 1975.

TABELA 2 - Parâmetros climáticos médios do ar ambiente para períodos de secagem de 7 dias, correspondentes ao ano de 1971.

Período de secagem	contínua			9 às 17 h			9 às 18 h			8 às 18 h		
	tso (°C)	URO (%)	UR (%)	tso (°C)	URO (%)	UR (%)	tso (°C)	URO (%)	UR (%)	tso (°C)	URO (%)	UR (%)
01/03 a 07/03	20,7	83,0	78,1	23,9	69,3	65,3	23,8	69,5	65,5	23,3	71,4	67,2
09/03 a 15/03	22,7	82,6	77,8	25,8	70,5	66,5	25,7	70,8	66,7	25,2	72,8	68,6
17/03 a 23/03	22,8	79,1	74,5	26,0	65,7	61,9	25,9	66,5	62,7	25,4	68,4	64,5
25/03 a 31/03	21,2	85,6	80,5	24,2	73,6	69,3	24,1	74,0	69,7	23,6	75,9	71,5
02/04 a 08/04	21,6	75,0	70,6	25,7	62,2	58,6	25,6	62,7	59,1	25,0	64,6	60,9
10/04 a 16/04	21,2	81,3	76,1	24,5	68,8	64,8	24,4	69,4	65,4	23,9	71,3	67,2
18/04 a 24/04	18,6	83,1	78,1	20,6	75,9	71,4	20,6	76,3	71,8	20,2	77,8	73,2
26/03 a 02/05	18,6	75,3	70,8	22,4	58,1	54,7	22,1	58,9	55,4	21,6	60,6	57,0
04/05 a 10/05	17,6	87,2	81,9	19,8	79,1	74,4	19,8	79,3	74,6	19,4	80,5	75,7
12/05 a 18/05	17,2	77,2	72,5	20,6	64,4	60,6	20,5	65,0	61,1	19,9	67,0	63,0
20/05 a 26/05	18,4	77,2	72,5	21,3	65,5	61,6	21,1	66,1	62,2	20,7	67,8	63,8
28/05 a 03/06	14,8	77,4	72,6	18,8	59,5	55,9	18,6	60,2	56,6	17,9	63,1	59,3
05/06 a 11/06	15,0	79,9	74,9	17,5	68,3	64,1	17,4	68,8	64,6	16,9	70,7	66,4
13/06 a 19/06	13,6	88,8	83,2	14,4	85,3	80,0	14,4	85,4	80,1	14,2	85,9	80,5
21/06 a 27/06	18,1	79,8	75,0	20,8	68,6	64,5	20,8	68,8	64,7	20,2	71,3	67,0

tso = temperatura de bulbo seco do ar antes de passar pelo ventilador.

URO = umidade relativa média do ar antes de passar pelo ventilador.

UR = umidade relativa média do ar no pñenum, que é função da temperatura de bulbo seco média tso mais 1°C.

TABELA 3 - Parâmetros climáticos médios do ar ambiente para períodos de secagem de 11 dias, correspondentes ao ano de 1971.

Período de secagem	contínua		9 às 17 h		9 às 18 h		8 às 18 h					
	tso (°C)	URO (%)	UR (%)	tso (°C)	URO (%)	UR (%)	tso (°C)	URO (%)	UR (%)			
01/03 a 11/03	21,2	82,9	78,0	24,4	69,4	65,4	24,3	69,7	65,7	23,9	71,6	67,4
13/03 a 23/03	23,2	79,0	74,4	26,6	64,7	61,0	26,4	65,5	61,8	25,9	67,6	63,7
25/03 a 04/04	21,3	82,4	77,5	25,0	69,9	65,9	24,8	70,4	66,3	24,3	72,2	68,0
06/04 a 16/04	21,2	80,2	75,4	24,4	68,6	64,6	24,3	69,1	65,1	23,7	71,0	66,9
18/04 a 28/04	17,6	81,5	76,5	20,4	69,1	65,0	20,3	69,7	65,5	19,8	71,3	67,0
30/04 a 10/05	18,3	83,4	78,3	20,6	75,0	70,5	20,6	75,4	70,9	20,2	76,5	71,9
12/05 a 22/05	17,6	76,8	72,1	21,1	63,2	59,5	21,0	63,9	60,1	20,4	66,0	62,1
24/05 a 03/06	15,6	79,6	74,7	18,7	65,4	61,5	18,6	66,1	62,1	18,1	68,2	64,1
05/06 a 15/06	14,3	82,6	77,4	16,2	73,4	68,9	16,2	73,7	69,2	15,8	75,3	70,7
17/06 a 27/06	16,5	84,2	79,0	18,3	76,9	72,2	18,3	77,0	72,3	17,9	78,6	73,8

tso = temperatura de bulbo seco média do ar antes de passar pelo ventilador.

URO = umidade relativa média do ar antes de passar pelo ventilador.

UR = umidade relativa média do ar no plenum, que é função da temperatura de bulbo seco média tso mais 1°C.

TABELA 4 - Parâmetros climáticos médios do ar ambiente para períodos de secagem de 29 dias, correspondentes ao ano de 1971.

Período de secagem	contínua			9 às 17 h			9 às 18 h			8 às 18, h		
	tso	URO	UR	tso	URO	UR	tso	URO	UR	tso	URO	UR
	(°C)	(%)	(%)	(°C)	(%)	(%)	(°C)	(%)	(%)	(°C)	(%)	(%)
02/03 a 30/03	21,9	82,5	77,6	25,0	70,2	66,2	24,9	70,7	66,6	24,4	72,6	68,4
01/04 a 29/04	19,9	79,6	74,8	23,1	67,2	63,3	23,0	67,8	63,8	22,5	69,6	65,5
01/05 a 29/05	17,9	80,7	75,8	20,1	69,7	65,5	20,0	70,3	66,1	19,6	71,8	67,5
31/05 a 28/06	15,6	82,1	77,0	17,9	71,8	67,4	17,9	72,1	67,7	17,4	74,0	69,5

tso = temperatura de bulbo seco média do ar antes de passar pelo ventilador.

URO = umidade relativa média do ar antes de passar pelo ventilador.

UR = umidade relativa média do ar no plenum, que é função da temperatura de bulbo seco média tso mais 1°C.

TABELA 5 - Teores de umidade de equilíbrio do milho, base úmida, no final do processo contínuo de secagem com ar natural, no ano de 1971.

Período de secagem	TUI (%)	TUE (%)	TUO (%)	Período de secagem	TUI (%)	TUI (%)	Período de secagem	TUI (%)	TUE (%)
01/03 a 07/03	22	16,1	17,3	01/03 a 11/03	20	16,0	02/03 a 30/03	18 ⁴	15,9
09/03 a 15/03	22	15,8	17,0	13/03 a 23/03	20	15,1	01/04 a 29/04	18	15,5
17/03 a 23/03	22	15,1	16,2	25/03 a 04/04	20	15,9	01/05 a 29/05	18	15,9
25/03 a 31/03	22	16,6	18,0	06/04 a 16/04	20	15,5	31/05 a 28/06	18	16,4
02/04 a 08/04	22	14,5	15,4	18/04 a 28/04	20	16,1			
10/04 a 16/04	22	15,6	16,9	30/04 a 10/05	20	16,4			
18/04 a 24/04	22	16,3	17,6	12/05 a 22/05	20	15,2			
26/04 a 02/05	22	14,8	15,8	24/05 a 03/06	20	15,9			
04/05 a 10/05	22	17,3	18,9	05/05 a 15/06	20	16,6			
12/05 a 18/05	22	15,3	16,4	17/06 a 27/06	20	16,7			
20/05 a 26/05	22	15,2	16,2						
28/05 a 03/06	22	15,6	16,7						
05/06 a 11/06	22	16,0	17,2						
13/06 a 19/06	22	18,1	19,9						
21/06 a 27/06	22	15,7	16,8						

TUI = teor de umidade inicial do milho, base úmida.

TUE = teor de umidade de equilíbrio para o ar ambiente aquecido de 1°C.

TUO = teor de umidade de equilíbrio para o ar ambiente sem aquecimento.

TABELA 6 - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, do milho, no final do processo de secagem seletiva com ar natural.

Período de secagem	TU _i (%)	Período de operação do ventilador		
		9 às 17 h (%)	9 às 18 h (%)	8 às 18 h (%)
01/03 a 07/03	22	13,4	13,4	13,7
09/03 a 15/03	22	13,4	13,5	13,8
17/03 a 23/03	22	12,6	12,8	13,1
25/03 a 31/03	22	14,0	14,1	14,5
02/04 a 08/04	22	12,1	12,2	12,6
10/04 a 16/04	22	13,2	13,3	13,7
18/04 a 24/04	22	14,7	14,8	15,1
26/04 a 02/05	22	11,8	11,9	12,2
04/05 a 10/05	22	15,4	15,4	15,7
12/05 a 18/05	22	12,9	12,9	13,3
20/05 a 26/05	22	13,0	13,1	13,4
28/05 a 03/06	22	12,2	12,4	12,9
05/06 a 11/06	22	13,7	13,8	14,2
13/06 a 19/06	22	17,2	17,2	17,3
21/06 a 27/06	22	13,5	13,5	14,0

TU_i = teor de umidade inicial, base úmida.

TABELA 7 - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, do milho, no final do processo de secagem seletiva com ar natural

Período de secagem	TUi (%)	Período de operação do ventilador		
		9 às 17 h (%)	9 às 18 h (%)	8 às 18 h (%)
01/03 a 11/03	20	13,3	13,4	13,7
13/03 a 23/03	20	12,4	12,6	12,9
25/03 a 04/04	20	13,4	13,5	13,8
06/04 a 16/04	20	13,2	13,3	13,7
18/04 a 28/04	20	13,6	13,7	14,0
30/04 a 10/05	20	14,6	14,6	14,9
12/05 a 22/05	20	12,6	12,7	13,1
24/05 a 03/06	20	13,2	13,3	13,7
05/06 a 15/06	20	14,7	14,8	15,1
17/06 a 27/06	20	15,1	15,1	15,5

TUi = teor de umidade inicial, base úmida.

TABELA 8 - Teores de umidade de equilíbrio, base úmida, do milho, no final do processo de secagem seletiva com ar natural.

Período de secagem	TUi (%)	Período de operação do ventilador		
		9 às 17 h (%)	9 às 18 h (%)	8 às 18 h (%)
02/03 a 30/03	18	13,4	13,5	13,9
01/04 a 29/04	18	13,1	13,2	13,5
01/05 a 29/05	18	13,7	13,8	14,1
31/05 a 28/06	18	14,3	14,3	14,7

TUi = teor de umidade inicial, base úmida.