

AVALIAÇÃO ECONÔMICO-ENERGÉTICA DA SECAGEM COMBINADA EM COOPERATIVA DE MILHO

MARCO A. M. BIAGGIONI¹, JADER P. RIBEIRO², WIDSNEY A. FERREIRA³, LUIZ A. TARGA⁴, CRISTIANE A. de JESUS⁵

¹ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil – biaggioni@fca.unesp.br

² Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – FCA/UNESP, Botucatu/SP, Brasil – jaderpr@fca.unesp.br

³ Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil

⁴ Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil

⁵ Aluna do curso de graduação em Agronomia – FCA/UNESP, Botucatu/SP, Brasil

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa – PB

RESUMO: A secagem combinada consiste na utilização de um secador em alta temperatura, para reduzir o teor de umidade dos grãos até 16-18% b.u., associado a um sistema de secagem com ar em temperatura próxima à ambiente, até os grãos atingirem a umidade ideal para o armazenamento. O presente trabalho teve por objetivo estudar a sua viabilidade, tendo como referência a secagem convencional em alta temperatura, avaliando parâmetros relativos ao consumo de energia e operacionalidade do processo. O trabalho foi realizado em escala real, numa cooperativa processadora de milho, utilizando um secador contínuo de fluxo misto e com fornalha a lenha. A secagem com ar natural transcorreu num armazém graneleiro dotado de sistema de aeração. Foram realizadas três repetições, para cada tratamento, para coleta dos dados e cálculos dos parâmetros energéticos. Os resultados obtidos comprovaram ser viável a utilização da metodologia de secagem combinada de milho na região, que proporcionou melhor eficiência energética e redução média de 30% no consumo total de energia. A capacidade de secagem da unidade aumentou em, aproximadamente, 29%, agilizando as operações de recepção, pré limpeza e secagem, além de permitir redução dos custos operacionais do processo de secagem em 22%.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem combinada, eficiência energética, milho.

ECONOMIC-ENERGY EVALUATION OF THE DRYING COMBINE AT CORN COOPERATIVE

ABSTRACT: The combined drying process consists on using a high temperature drier, which reduces the humidity level on grains up to 16-18% w.b., followed by drying with air near to ambient temperature, until the grains reach the ideal content moisture for storage. This paper aimed to study its feasibility, keeping the conventional high temperature drying method as a reference, assessing related energy consumption parameters and process operation functionality. This work was carried on, in real scale, using a mixed flow continuous drier with a wood furnace. The drying process with natural air happened on a grain store with ventilation system. In order to collect data and subsequent calculation of energetic parameters, each treatment was repeated three times. The results proved the feasibility of the combined drying methodology for corn on the region, improving the system energetic efficiency with 30% less than energy, increase 29% the drying capacity, optimizing operations of reception, pre-cleaning and drying. Furthermore, it allows 22% cost reduction on the total drying process.

KEYWORDS: Drying Combine, energy efficiency, corn.

INTRODUÇÃO: Segundo dados do IBGE (2001), com um incremento médio na produção de grãos na ordem de 14 % ao ano, devido ao aumento da área plantada e aumento na produtividade das culturas, tornaram-se mais ágeis os sistemas de colheitas e maiores os percentuais de umidade com que os grãos, vindos das lavouras, chegam até as unidades de beneficiamento. Todavia, a evolução tecnológica nestas unidades, especificamente no que tange à recepção e à secagem, não acompanhou

as evoluções ocorridas nas etapas primárias do fluxo dos grãos. As poucas evoluções que aconteceram nos sistemas de secagem limitaram-se a aumento de capacidade das máquinas e redução nas potências dos ventiladores utilizados. Frente a esta acelerada modificação no mercado, onde se torna cada vez maior a exigência por qualidade dos produtos e redução nos custos, o uso da secagem combinada mostra-se como uma alternativa que se atenta a estes propósitos. Lopes et al (2002) destacam que as principais vantagens esperadas na utilização de um sistema de secagem combinada são: utilização do secador em altas temperaturas na faixa de umidade em que é mais eficiente, ou seja, alto teor de umidade dos grãos; secagem lenta e uniforme do produto durante a etapa de utilização do sistema em baixas temperaturas; menor consumo de combustível; menor custo de operação e melhor qualidade final do produto. Maier e Montross (2000) comprovaram que a utilização da secagem combinada, em milho, aumentou em cerca de 72% a capacidade de secagem, reduzindo os custos em cerca de 11%, comparado a secagem em altas temperaturas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar e comparar parâmetros energéticos e econômicos durante a secagem combinada de grãos de milho, processados em escala comercial, tendo como referência a secagem convencional.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido na unidade de beneficiamento de grãos da Cooperativa Agroindustrial de Pedrinhas Paulista, localizada no município de Pedrinhas Paulista-SP. Foi utilizado um dos secadores de grãos em alta temperatura (contínuo, de fluxo misto, 60 t/h, fornalha a lenha e fogo direto) e um armazém graneleiro de concreto (fundo em "V", 9000 t), com seu respectivo sistema de aeração (8 ventiladores, 20cv). O produto processado foi o milho, oriundo das plantações dos cooperados da região, sem distinção quanto à variedade plantada e quanto à umidade de recepção, limitando-se, somente, a um teor de umidade máximo de 25% b.u., conforme normas da Cooperativa. Para a análise do sistema de secagem convencional, os grãos foram processados no secador em alta temperatura, em regime intermitente, até que os mesmos atingissem a umidade de, aproximadamente, 13% b.u. Para a secagem combinada, os grãos foram secos no mesmo secador, em alta temperatura, em regime contínuo, até atingirem a umidade de, aproximadamente, 16% b.u. Foram, então, direcionados ao armazém graneleiro, onde se submeteram à etapa de secagem com ar em temperatura próxima a ambiente, até a umidade ideal de armazenagem, ao redor de 13% b.u., quando atingiram o equilíbrio higroscópico. Inicialmente, foram processadas três repetições de secagem convencional, e, posteriormente, mais três repetições para a secagem combinada, em alta temperatura. Para a análise da secagem à temperatura ambiente, os grãos colocados no armazém graneleiro foram avaliados diariamente, com medição da umidade de amostras coletadas em diferentes alturas da massa de grãos, até ocorrer o equilíbrio de umidade em toda a massa de grãos armazenada. Para avaliação de desempenho foi utilizada a metodologia proposta por Bakker–Arkema et al. (1978). Os parâmetros requeridos para esta análise foram: teor de umidade, temperatura e volume de produto (relacionados ao produto), duração dos testes, temperatura do ar no secador, consumo de energia elétrica e combustível (relacionados ao equipamento), além de umidade relativa e temperatura do ar ambiente. Com base nos parâmetros coletados, foi feita a avaliação energética para cada um dos sistemas de secagem em análise. Foram avaliados: energia total do sistema (energia do combustível e energia elétrica), rendimento térmico do secador (relação percentual entre a energia total do sistema e a energia do ar de secagem) e eficiência energética dos sistemas de secagem (quantidade total de energia utilizada para evaporar uma unidade de água dos grãos). O custo operacional do sistema foi representado pelo somatório dos custos variáveis envolvidos no processo, considerando-os como função da capacidade unitária de processamento, pelo tempo consumido em cada um dos métodos de secagem realizados experimentalmente. Foram considerados os custos de combustível, energia elétrica e mão-de-obra, desprezando-se os custos fixos como depreciação dos equipamentos, juros, manutenção, seguros e impostos. O custo operacional foi obtido pela Equação 1:

$$Co = (qc.Vc) + (qee.Vee) + (qmo.Vmo) \quad (\text{equação 1})$$

onde: Co = custo operacional total, R\$; qc = quantidade de combustível consumido, kg; Vc = valor do combustível, R\$/kg; qee = quantidade de energia elétrica consumida, kW; Vee = valor da energia elétrica, R\$/kW; qmo = quantidade de mão de obra, h; Vmo = valor total da mão de obra, R\$/h.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Verifica-se, pela Tabela 1, que, apesar dos teores de umidade iniciais mais altos, a secagem combinada, na fase de alta temperatura, apresentou um tempo de operação menor e, conseqüentemente, menor consumo de lenha. Isto pode ser explicado pelo fato da

secagem combinada, além de encerrar-se antes, processou-se numa fase mais favorável à evaporação da água dos grãos.

Tabela 1 – Resultados médios obtidos durante as secagens em alta temperatura no secador convencional e combinada) e em baixa temperatura no armazém (combinada).

Parâmetros	Convencional - sec.	Combinada - sec.	Combinada - arm.
	Alta temperatura	Alta temperatura	Baixa temperatura
Umidade inicial (%b.u.)	20,8	22,3	16,5
Umidade final (%b.u.)	12,3	15,4	12,5
Tempo de operação (h)	4,76	3,08	1239
Temperatura de secagem (°C)	119	114	23
Consumo lenha (kg)	5.013	2.996	-
Consumo elétrico (kWh)	31	30,3	69,0
Temperatura ambiente (°C)	24	33	18
Umidade relativa ambiente (%)	69	59	66

Os dados da secagem a baixa temperatura também são apresentados na Tabela 1. Considerando a capacidade total do armazém, o processo durou 1.239 horas, com os grãos passando de um teor de umidade inicial médio de 16,5% para 12,5 % b.u. Analisando a vazão média de ar, em relação a quantidade total de grãos armazenados, observou-se uma vazão específica de ar de $0,26 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Analisando a energia total envolvida em cada caso, nota-se que o montante consumido na secagem combinada foi menor, em comparação ao sistema de secagem convencional (Tabela 2). Tal fato deve-se a redução de energia consumida na fase de secagem em alta temperatura, reduzindo o teor de umidade para, aproximadamente, 15,3% b.u. Mesmo a secagem combinada utilizando uma grande quantidade de energia elétrica para acionamento dos motores dos ventiladores, apresentou vantagem no consumo total de energia. Comparando os valores de energia consumida pelos sistemas, com um consumo médio de 46.364.170 kJ, a secagem combinada proporcionou uma economia de mais de 30% em relação ao consumo médio da secagem convencional (70.655.772 kJ), superando os dados apresentados por Maier e Montross (2000), que citaram um ganho de 25%.

Tabela 2 – Resultados obtidos na secagem combinada, em lotes de 90 t, em alta temperatura (AT) e em baixa temperatura (BT).

Parâmetros	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Ec – energia de combustível, kJ	41.953.581	43.352.033	40.415.283
Ee – energia elétrica, kJ (AT)	372.574	349.646	338.182
Ee – energia elétrica, kJ (BT)	4.103.737	4.103.737	4.103.737
Et – energia total, kJ	46.429.892	47.805.416	44.857.202
Água evaporada, kg (AT)	8.394	7.268	6.360
Água evaporada, kg (BT)	2.611	3.120	2.485
Eas – energia do ar de secagem, kJ (AT)	29.491.313	31.790.531	30.748.219
Rt – rendimento térmico, % (AT)	70	73	76
Eficiência energética, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (AT)	4.206	4.589	5.057

Tabela 3 – Resultados obtidos na secagem convencional, em lotes de 90 t, em alta temperatura.

Parâmetros	Lote 4	Lote 5	Lote 6
Ec – energia de combustível, kJ	67.405.420	68.104.646	74.817.219
Ee – energia elétrica, kJ	478.040	553.702	605.289
Et – energia total, kJ	67.883.460	68.658.348	75.422.508
Água evaporada, kg	8.556	7.686	9.857
Eas – energia do ar de secagem, kJ	49.089.240	54.015.822	57.623.940
Rt – rendimento térmico, %	73	79	77
Eficiência energética, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	7.934	8.933	7.651

Comparando-se as eficiências energéticas (Tabelas 2 e 3) da fase de alta temperatura, para os dois métodos de secagem testados, observa-se que a secagem combinada foi melhor, ficando próxima de

5.000 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, demonstrando que o uso de secador em alta temperatura é mais eficiente quando operado em maiores faixas de umidade dos grãos. A eficiência energética na secagem convencional atingiu até 8.933 kJ.kg⁻¹. A capacidade de secagem foi medida em função da quantidade de produto capaz de ser seco na unidade de tempo, relacionado a um determinado percentual de redução de umidade (quantidade de água retirada por unidade de tempo). Pelos parâmetros medidos, mostrados na Tabela 4, pode-se verificar que a quantidade de água evaporada por unidade de tempo foi maior na secagem combinada, obtendo-se valores médios de 2.373,9 kg. h⁻¹ contra 1.836,6 kg. h⁻¹ da secagem convencional. Esta variação representa um aumento médio de 29% na capacidade, quando utilizada a metodologia de secagem combinada. Analisando o custo da secagem (Tabela 5), pode-se verificar que, na secagem combinada, o custo com combustível representou 48% do custo total, a energia elétrica representou 20% e a mão-de-obra representou 32%. Na secagem convencional, o custo com combustível representou 53%, a energia elétrica representou 4% e o custo com mão de obra representou 43%. A partir dos valores médios dos lotes analisados, observa-se um custo total de secagem de 3,96 R\$. t⁻¹ para a metodologia de secagem combinada e um custo de 4,87 R\$. t⁻¹ para a metodologia de secagem convencional, representando uma diferença de 22%.

Tabela 4 – Parâmetros médios utilizados para cálculo da capacidade unitária de secagem, em alta temperatura, para a secagem combinada e secagem convencional.

Parâmetros	Secagem convencional			Secagem combinada		
	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Umidade inicial (%b.u.)	20,42	20,11	21,95	23,2	22,6	21,1
Umidade final (%b.u.)	12,06	12,65	12,35	15,3	15,8	15,1
Tempo de operação (h)	4,17	4,83	5,28	3,25	3,05	2,95
Água evaporada total (Kg)	8.556	7.686	9.857	8.394	7.268	6.360
Água evaporada por hora (kg. h ⁻¹)	2.051,8	1.591,3	1.866,8	2.582,8	2.383,0	2.155,9

Tabela 5 – Custos operacionais com combustível, energia elétrica e mão-de-obra, para cada metodologia de secagem.

Parâmetros	Secagem combinada			Secagem convencional		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6
qc – Combustível, R\$. t ⁻¹	1,54	1,59	1,49	2,48	2,51	2,75
qe – Em. Elétrica, R\$. t ⁻¹						
AT	0,12	0,11	0,11	0,16	0,18	0,20
BT	1,25	1,25	1,25	-	-	-
Custo Energia, R\$. t ⁻¹	2,91	2,95	2,84	2,64	2,69	2,95
%	72%	74%	73%	58%	56%	56%
qmo – Mão de obra, R\$. t ⁻¹	1,12	1,01	1,05	1,84	2,14	2,34
%	28%	26%	27%	42%	44%	44%
Custo Total, R\$. t ⁻¹	4,03	3,96	3,90	4,48	4,83	5,29

CONCLUSÕES: A metodologia de secagem combinada apresentou, em relação à secagem convencional, uma redução média de 30% no consumo total de energia, um aumento médio de 29% na capacidade de secagem, além de uma melhor eficiência energética. O custo operacional na secagem combinada, considerando custos de combustível, energia elétrica e mão-de-obra, foi 22% inferior ao custo operacional da secagem convencional, para os lotes analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKKER-ARKEMA, F. W. ; BROOKER, D. B.; HALL, C. H. **Drying cereal grain**. Westport: AVI, 1978. 265 p.
- IBGE – **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, RJ, v. 29, p. 1-88, 2001.
- LOPES, R.P et al. Consumo de energia em dois sistemas de secagem de café. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, MG, v. 26, n. 6, p. 1266-1274, 2002.
- MAIER, D. E.; MONTROSS, M.D. Simulated performance of conventional high-temperature drying, dryeration, and combination drying of shelled corn with automatic conditioning. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 3, p. 691-699, 2000.