

Custos da secagem intermitente de grãos de milho submetidos a três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80°C)

Edar Ferrari Filho¹, Roberto Gottardi², Rafael Gomes Dionello³

Resumo - Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar consumo e custos de combustível gás liquefeito de petróleo (GLP) e eletricidade na secagem intermitente de grãos de milho, comparando-se três temperaturas do ar de secagem. Os grãos foram oriundos de lavoura experimental da Estação Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e secos até umidade de aproximadamente 13 % utilizando secagem intermitente com uso de GLP a temperaturas de 60, 70 e 80°C. Foram realizadas avaliações de consumo e custos horário, unitário e total para o combustível GLP. Também foram realizadas avaliações de consumo total e custo de eletricidade por saco, além do custo total de secagem para todos os tratamentos estudados. A secagem intermitente de grãos de milho com temperatura do ar de 80°C apresentou a maior taxa de secagem e o menor tempo total de secagem. O custo total e horário de GLP e o custo total da secagem intermitente de grãos de milho por saco foi menor na secagem a 70°C. A secagem em temperatura do ar de 80°C apresentou maior eficiência de trabalho, enquanto a secagem em temperatura do ar de 70°C apresentou maior eficiência econômica.

Palavras-chave: secagem intermitente, milho, avaliação econômica.

Costs of intermittent drying corn grains subjected to three temperatures of drying air (60, 70 e 80°C)

Abstract - This study was performed to evaluate fuel consumption and costs of liquefied petroleum gas (LPG) and electricity in the intermittent dry in gof grains, comparing three temperatures of drying air. The grains were derived from experimental farm of the Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, and dry until moisture content of about 13% using intermittent drying with the use of LPG at temperatures of 60, 70 and 80°C. We evaluated costs and time consumption, unit and total for the LPG fuel. Were also evaluated for total consumption and electricity cost per bag, beyond the total cost of drying for all treatments. The intermittent drying of grain at an air temperature of 80°C had the highest drying rate and the lowest total time of drying. The total cost of LPG and time and total cost of intermittent drying of grains per bag on drying was less than 70°C. The drying air temperature of 80°C has high work efficiency, while the drying air temperature of 70°C showed greater economic efficiency.

Key words: intermittent drying, corn, economic evaluation.

Introdução

Segundo FAO (2006), o Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de milho, atrás apenas dos Estados Unidos e China, e tendo respondido, na média do período de 1990 a 2000, com cerca de 6 % do volume produzido mundialmente. Os países que possuem as maiores produções são Estados Unidos, com participação de aproximadamente 40 %, e China,

com cerca de 20 % da oferta mundial de milho. Outros países importantes são México, França e Argentina, com participações expressivas na produção mundial, podendo-se também destacar a importância de países como Romênia, Iugoslávia, África do Sul, Índia, Itália, Canadá e Hungria.

O milho é o segundo grão mais produzido no país, perdendo somente para a soja, chegando a aproximadamente 54 milhões de toneladas, na safra

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Departamento de Fitossanidade. Av. Bento Gonçalves, 7712, Porto Alegre, RS, Caixa Postal 15100, 91540-000. Telefone (51) 33087404.

¹ Mestrando em Fitotecnia/Bolsista Capes. E-mail: edarff@gmail.com. Telefone: (51) 81571422.

² Estudante de Graduação/Bolsista CNPq. E-mail: r.gottardi@yahoo.com.br. Telefone (51) 81286995.

³ Professor titular. E-mail: rafidionello@hotmail.com. Telefone (51) 81004749.

2009/2010 (CONAB, 2010), com um acréscimo de 6,6 % em relação à safra anterior. No Brasil, os estados de maior produção são Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, que é o quarto estado em produção, com cerca de 10 % da produção nacional e uma produtividade média de aproximadamente 5000 kg ha⁻¹. A região Noroeste é a maior produtora do estado com mais de 50 % da produção estadual e a região metropolitana de Porto Alegre fica com cerca de 3 % da produção de milho no Rio Grande do Sul. Os principais municípios produtores são Montenegro e Osório (CONAB, 2010).

A secagem e o armazenamento constituem uma importante etapa da cadeia produtiva de grãos, influenciando significativamente a qualidade final do produto. Os custos relativos a estas etapas requerem atenção especial dos produtores, pois se forem muito elevados, podem comprometer uma significativa parcela da rentabilidade do processo de produção e comercialização dos grãos. Portella & Martins (2000) complementam que, no sistema produtivo atual, a qualidade dos grãos tem destacada importância para determinação do preço pago pelo produto e para atender a exigência do mercado consumidor, principalmente em relação às exportações.

A secagem é uma rotina operacional necessária para a adequada armazenagem dos grãos e sementes após a colheita e consiste na remoção da maior parte da umidade através de um processo que combina a geração de correntes de ar aquecido entre as massas dos grãos, através de um processo mecânico. Silva (2004) define secagem de grãos como um processo termodinâmico que tem por objetivo reduzir o teor de umidade das sementes, para que estejam em condições para serem armazenadas por longos períodos.

A secagem para o armazenamento dos grãos e sementes se faz necessária, por dois fatores principalmente, que segundo Rossi & Roa (1980) são: evitar a proliferação de insetos, fungos e microorganismos que deterioram grãos em estoque e permitir a estocagem das sementes por longos períodos sem que estas venham a germinar. O processo de secagem pode custar até 15 % do custo total das atividades relativas à pós-colheita.

A secagem intermitente é caracterizada pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos, também em movimento, promovido pela recirculação do grão no secador. Com isso, há difusão da água do interior para a periferia do grão e a evaporação da água periférica ocorre de maneira branda e equilibrada. Nesse processo, os grãos permanecem recirculando no interior do se-

gador durante toda a operação e o seu contato com o ar se realiza de modo descontínuo e repetitivo (AHRENS et al., 2000; SILVA et al., 1995). O ar de secagem, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, ele absorve em forma de vapor o que perde sob a forma de calor, caracterizando um processo isoentálpico. Grãos são produtos higroscópicos e, como tais, sofrem variações no seu conteúdo de água, a qualquer momento, de acordo com as condições do ar ambiente que os circunda (MILMAN, 2001; PORTELLA & EICHELBERGER, 2001; ELIAS, 2002).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar consumo e custos de combustível GLP (gás liquefeito de petróleo) e eletricidade na secagem intermitente de grãos de milho, comparando-se três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80°C).

Material e Métodos

Foram utilizados grãos de milho (*Zea mays* L.), cultivados na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), município de Eldorado do Sul, RS (30°05'52''S; 51°39'08''W), na safra agrícola 2008/2009.

1. Colheita e secagem

As espigas foram colhidas, com umidade de 18 %, debulhadas em debulhadora estacionária mecânica de cilindro dentado, os grãos posteriormente limpos em máquina de ar e peneiras planas, para retirada de impurezas, grãos quebrados e outras matérias. Em seguida, divididos em três tratamentos de secagem (S₁ a S₃):

S₁ - Secagem intermitente, com ar aquecido, a 60°C.

S₂ - Secagem intermitente, com ar aquecido, a 70°C.

S₃ - Secagem intermitente, com ar aquecido, a 80°C.

A temperatura do ar de secagem foi controlada por sensor localizado na tubulação da saída do ar do ventilador para a câmara de secagem. Os grãos foram secos até teor de água respectivamente de 13,8 %, 13,32 % e 13,28 % em b.u.; foram utilizados fluxos de ar, respectivamente, de 1,45, 1,70 e 1,65 m³ s⁻¹ ton⁻¹ de grãos; foram utilizadas velocidade do ar de secagem respectivamente de 64 m s⁻¹, 75 m s⁻¹ e 73 m s⁻¹, para os tratamentos S₁ a S₃. Para cada tratamento foram realizadas três repetições e foram secos 93 sacos em cada repetição de cada tratamento.

Durante as operações de secagem (S₁ a S₃), foi realizado o acompanhamento da umidade com determinador dielétrico (GEOLE), previamente

calibrado pelo método da estufa, sendo retiradas amostras em intervalos de tempo, para que a secagem fosse realizada até os grãos atingirem umidade próxima a 13 %. Ao final das operações e a partir daí, todas as determinações de umidade foram feitas em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar (BRASIL, 2009).

A temperatura do ar de secagem foi monitorada com termômetro de mercúrio, com escala de $0,5^\circ\text{C}$, sendo o mesmo posicionado na entrada do secador, após o ventilador. A velocidade do ar de secagem foi monitorada utilizando-se anemômetro de pás rotativas.

A temperatura da massa de grãos foi monitorada com termômetro de mercúrio, com escala de $0,5^\circ\text{C}$, coletando-se amostras na parte inferior do secador, colocando-as em copos plásticos e, após três minutos, lidos os resultados.

Também foram calculadas as taxas de secagem para as duas condições estudadas, dividindo-se a quantidade de água retirada (%) pelo tempo total de secagem.

2. Avaliações

Para medição do consumo de GLP foi utilizado um medidor de vazão de gás em m^3 , da marca LAO, modelo G1, posicionado antes do queimador, onde foram coletados dados a cada hora, até o final da secagem. O consumo de gás foi medido em m^3 , e, para calcular os valores gastos totais, usaram-se as seguintes deduções:

1 m^3 de GLP = 2,5 kg de GLP (SUPERGASBRAS, 2010)

1 kg de GLP = R\$ 2,50 ou US\$ 1,75 (em agosto de 2010) (SUPERGASBRAS, 2010)

Para os cálculos de consumo de GLP, foram utilizadas as seguintes equações:

Consumo total ($\text{kg t}_{\text{seca}}^{-1}$) = o consumo total foi obtido dividindo-se o consumo efetivo pelo peso dos grãos após secagem.

Consumo horário (kg h^{-1}) = obtido mediante a divisão do consumo total efetivo pelo número efetivo de horas de duração da secagem.

Consumo unitário ($\text{kg \%}^{-1} \text{ t}_{\text{seca}}^{-1}$) = obtido dividindo-se o consumo total pelo percentual de água retirado e pelo peso final de grãos secos.

Para os cálculos de custos de GLP, foram utilizadas as seguintes equações, considerando-se o preço de R\$ 2,50 kg^{-1} de GLP ou US\$ 1,75, em agosto de 2010, (SUPERGASBRAS, 2010):

Custo total (R\$ $\text{t}_{\text{seca}}^{-1}$) = obtido a partir do consumo total de GLP ($\text{kg t}_{\text{seca}}^{-1}$).

Custo horário (R\$ h^{-1}) = obtido a partir do consumo horário de GLP (kg h^{-1}).

Custo unitário (R\$ $\text{saco } 60 \text{ kg}^{-1}$) = obtido a partir do consumo total de GLP ($\text{kg t}_{\text{seca}}^{-1}$), dividindo-se por unidade de 60 kg.

Para os três tratamentos de secagem, utilizaram-se dois motores elétricos no secador, um para acionar o ventilador que impulsionava o ar de secagem e o outro para acionar o mecanismo de movimentação de grãos dentro do secador intermitente, com potência de 1,5 e 4,0 cv, e consumo horário de 1,17 e 3,25 kWh, respectivamente.

Em relação ao consumo e custos com eletricidade, para as secagens, foram realizados os seguintes cálculos:

Consumo total (kWh) = calculado a partir do consumo de eletricidade horário de cada ventilador, multiplicado pelo tempo total de secagem.

Custo (R\$ $\text{saco } 60 \text{ kg}^{-1}$) = obtido a partir do consumo de energia elétrica, considerando-se o preço de R\$ 0,37, em agosto de 2010.

Para cálculo do custo total de secagem, para as secagens, utilizou-se o seguinte cálculo:

Custo total (R\$ $\text{saco } 60 \text{ kg}^{-1}$) = obtido pela soma dos custos totais de GLP e eletricidade.

O experimento foi conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram interpretados por meio de análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5 % de probabilidade. A avaliação estatística dos resultados do experimento foi realizada por meio do aplicativo computacional estatístico *BioEstat* 5.0.

Resultados e Discussão

Os resultados médios da temperatura da massa de grãos nas secagens S_1 a S_3 foram respectivamente de 26, 28 e 31°C . O valor médio da temperatura do ar de secagem nas secagens S_1 a S_3 foi de 59, 70 e 80°C . O tempo de secagem foi de 15, 13 e 12 h, e as taxas de secagem foram 0,28, 0,36 e 0,39 pph^{-1} , respectivamente para a secagem S_1 a S_3 .

Portella & Martins (2001), estudando a secagem de milho em condições estacionárias, utilizando GLP como combustível, com umidade inicial de 18 %, em temperatura do ar de secagem de 40, 70 e 100°C , obtiveram como resultados de taxa de secagem, respectivamente, 1,25, 1,62 e 3,65 pph^{-1} , para as temperaturas de 40, 70 e 100°C , valores superiores aos encontrados neste trabalho para a secagem com GLP, porém em processo de secagem estacionária.

O consumo e o custo totais de GLP, além do custo unitário, alcançaram o maior valor na secagem com temperatura a 60°C , seguido da tempera-

tura de 80 e de 70°C (Tabela 1). Isso ocorre porque quando se utilizam temperaturas de secagem mais baixas, maior é o tempo de secagem, resultando em um maior consumo total de GLP. Já na secagem com maior temperatura (80°C), em virtude da necessidade de um período menor de tempo para que se completasse a secagem, o consumo de GLP foi menor quando comparado à secagem de 60°C. Esses resultados concordam com Portella & Eichelberger (2001), que trabalharam com secagem estacionária de grãos de milho em três diferentes níveis de umidade inicial (35, 25 e 18 %) e três diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 70 e 100°C).

Quanto ao consumo e custo horários de GLP, o tratamento de 80°C alcançou os maiores valores, seguido da secagem a 60 e 70°C, concordando com Portella & Eichelberger (2001) que relataram diferenças no consumo horário de GLP em função da temperatura de secagem, como consequência de maior gasto de combustível para atendimento da necessidade energética para elevação da temperatura do ar de secagem.

O consumo unitário de GLP foi superior no tratamento de secagem a 60°C, pois a taxa de secagem obtida neste tratamento foi a menor entre os tratamentos, enquanto o tratamento 80°C, por ter a maior taxa de secagem, apresentou o menor consumo unitário de GLP.

O consumo total de eletricidade diferiu significativamente entre os três tratamentos, sendo maior na secagem a 60°C, seguido da secagem 70 e 80°C (Tabela 2). Esses valores foram consequência do tempo total de cada secagem e consequentemente do funcionamento dos motores elétricos. O tempo total de secagem foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem.

Quanto ao custo de eletricidade por saco, este também foi influenciado pelo tempo total de secagem, sendo que o tratamento 60°C alcançou o maior valor, o tratamento 80°C resultou no menor valor e o tratamento 70°C obteve um valor intermediário, não diferindo estatisticamente dos extremos. Consequentemente, pode-se observar que o custo de combustível por saco influenciou a diferença entre os custos totais da secagem, onde a secagem

Tabela 1 - Consumo e custo total, horário e unitário de gás liquefeito de petróleo (GLP) na secagem intermitente de grãos de milho, sob três temperaturas (60, 70 e 80°C)¹

Tratamento	Consumo de GLP			Custo de GLP ²		
	Total (kg t _{seca} ⁻¹)	Horário(kg h ⁻¹)	Unitário (kg % ⁻¹ t _{seca} ⁻¹)	Total (R\$ t _{seca} ⁻¹)	Horário (R\$ h ⁻¹)	Unitário (R\$ saco 60 kg ⁻¹)
60°C	14,29A	5,29B	3,37A	35,72A	13,22B	2,14A
70°C	11,62C	4,96C	2,62B	29,05C	12,40C	1,74C
80°C	12,82B	5,92A	2,54C	32,04B	14,80 ^a	1,92B
CV (%)	5,18	4,52	8,06	-	-	-

1 – Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

2 – R\$ 2,50 kg⁻¹ de GLP em agosto de 2010.

Tabela 2 - Consumo e custo de energia elétrica, custo do combustível (GLP) e custo energético total na secagem intermitente de grãos de milho, sob três temperaturas (60, 70 e 80°C)¹

Tratamento	Consumo de Eletricidade (kWh)		Custo (R\$ saco 60 kg ⁻¹)		
	Total	Eletricidade ²	Combustível ³	Total	
60°C	66,30A	0,26A	2,14 ^a	2,40A	
70°C	57,46B	0,23AB	1,74C	1,97C	
80°C	53,04C	0,21B	1,92B	2,13B	
CV (%)	5,73	-	-	5,01	

1 – Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

2 – R\$ 0,37 kWh⁻¹ de energia elétrica em agosto de 2010.

3 – R\$ 2,50 kg⁻¹ de gás em agosto de 2010.

CUSTOS DA SECAGEM INTERMITENTE DE GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS
A TRÊS TEMPERATURAS DO AR DE SECAGEM (60, 70 E 80 °C)

a temperatura de 60°C apresentou o maior custo total, diferindo estatisticamente da secagem a 80°C, que apresentou um valor intermediário e da secagem a 70°C, que apresentou o menor custo total de secagem.

Conclusões

A secagem intermitente de grãos de milho com temperatura do ar de 80°C apresentou a maior taxa de secagem e o menor tempo total de secagem.

O consumo unitário de GLP e total de eletricidade na secagem intermitente de grãos de milho é menor na temperatura de 80°C.

O consumo horário de GLP na secagem intermitente de grãos de milho foi maior quanto se utilizou a maior temperatura do ar de secagem (80°C).

O custo total e horário de GLP e o custo total da secagem intermitente de grãos de milho por sacco foi menor na secagem a 70°C.

A secagem em temperatura do ar de 80°C apresentou maior eficiência de trabalho, enquanto a secagem em temperatura do ar de 70°C apresentou maior eficiência econômica.

Agradecimentos

Ao CNPq e à Supergasbrás pelo auxílio que possibilitou a realização deste trabalho.

Referências

AHRENS, D.C.; VILLELA, F.A.; DONI FILHO, L. Qualidade fisiológica e industrial de sementes de aveia-branca (*Avena sativa*) na secagem intermitente. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 12-20, 2000.

ALVES, Wederson M. *et al.* Qualidade dos grãos de milho em função da umidade de colheita e da temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 469-474, 2001.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) - DAS. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da agropecuária (2010)**. Brasília: Conab [on line]. Disponível em: <<http://www.conab.org.br>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

ELIAS, M.C. **Armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas**. 3. ed. Pelotas: UFPEL, COREDE-SUL, 2002. 218 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations Better information sharing could reduce post-harvest food losses – New database launched (2006). FAO. Rome. Disponível em: <www.fao.org/es/>. Acesso em: 02 dez. 2010.

MEGIDO, J. L. ; XAVIER, C. **Marketing e agribusiness**. São Paulo: Atlas, 1998.

MILMAN, M. J. **Manejo da relação de intermitência e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz**. 2001. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Industrial) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.

_____. ; MARTINS, R. R. **Uso de GLP na secagem de milho em secador de leito fixo**. Passo Fundo: Embrapa, 2000. Circular n.7.

_____. ; _____. Gás na Secagem de grãos. **Revista Cultivar**. p.36-37. 2001. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/gc31_secagem.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2010.

ROSSI, S. J. ; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com energia solar e ar natural**. 22. ed., São Paulo : ACIESP, 1980. 295 p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. Estudos dos métodos de Secagem. In: Silva, J.S. **Pré-processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. p. 105-143.

SILVA, Luiz C. **Secagem de grãos**. Disponível em: <www.unioeste.br/agais/secagem>. Acesso em: 12 jul. 2010.

SUPERGASBRAS. **Características do gás LP**. Disponível em: <www.supergasbras.com.br>. Acesso em: 15 set. 2010.