

ANÁLISES TÉCNICA E FUNCIONAL DE UM SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE CEREAIS OPERANDO COM MILHO SAFRINHA

EVANDRO MARCOS KOLLING¹, EMERSON TROGELLO²,
ALCIR JOSE MODOLO³ e RIVANILDO DALLACORT⁴

¹Doutorando em Agronomia, UFTPR, Toledo, PR, Brasil, kolling@utfpr.edu.br

²Professor Adjunto, UFV, Viçosa, MG, Brasil, emerson.trogello@ufv.br

³Professor Adjunto, UFTPR, Pato Branco, PR, Brasil, alcir@utfpr.edu.br

⁴Professor Titular, UNEMAT, Tangará da Serra, MT, Brasil, rivanildo@unemat.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.11, n.2, p. 202-208, 2012

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi analisar técnica e operacionalmente uma unidade de beneficiamento e armazenagem de produtos agrícolas, com vistas à identificação de pontos de estrangulamento e geradores de perdas quantitativas e econômicas do sistema, e avaliar equipamentos e procedimentos adotados pela unidade. O estudo de caso abrange todas as etapas do processo de pós-colheita, com ênfase nas operações de limpeza, secagem e armazenamento de grãos de milho (*Zea mays* L.), oriundos da safrinha do Norte do Paraná. O procedimento dos testes foi baseado na determinação das características iniciais, decorrentes e finais dos produtos e das operações de beneficiamento, a fim de determinar a capacidade de operação e eficiência dos equipamentos. Com base nos resultados obtidos, as principais observações foram a baixa capacidade de operação e eficiência dos equipamentos, que, aliadas à práticas operacionais não recomendadas, condicionam o processo a perdas por secagem excessiva e por quebra do produto na ordem de 0,52 e 0,80%, respectivamente.

Palavras-chave: capacidade de operação, eficiência do sistema, secagem de grãos, umidade, *Zea mays* L.

FUNCTIONAL AND TECHNICAL ANALYSIS OF A GRAIN PROCESSING SYSTEM IN WINTER MAIZE

ABSTRACT - The aim of this work was analyze technical and operationally an unit of processing and storage of agricultural products, aiming to identify problems and causes of quantitative and economic losses in the system, and evaluate equipment's and procedures adopted by the unit. The study includes all the post-harvest stages, with emphasis on cleaning, drying and storage of maize (*Zea mays* L.) grains from the second crop in northern Paraná. The procedure of the tests was based on the quantification of the initial, intermediate and final characteristics of products and processing operations in order to determine the operability and efficiency of the equipment. The main observations were poor operating capacity and efficiency of equipments, which, together with not recommended operating practices, caused losses by excessive drying 0.52% and breakage 0.80%.

Key words: operating capacity, efficiency of the system, grain drying, moisture, *Zea mays* L.

No ano de 2010, o Brasil respondeu por aproximadamente 7% da produção mundial de milho (*Zea mays* L.), caracterizando-se como o quarto maior produtor mundial deste cereal (AGRIANUAL, 2010). Segundo dados do Paraná (2011), a produção nacional de milho, juntando as safras de verão e inverno, foi de 55,4 milhões de toneladas, semeadas em uma área de 12,7 milhões de hectares, propiciando um rendimento médio de 4.367 kg ha⁻¹. O estado do Paraná se mantém líder na produção de milho desde a década de 1970, sendo que, na safra 2010, o mesmo alcançou produção de 13,7 milhões de toneladas, semeadas em 2,3 milhões de hectares e proporcionando um rendimento médio de 6.032 kg ha⁻¹.

Segundo dados da Conab (2012), a capacidade estática de armazenagem de grãos brasileira é de aproximadamente 142,2 milhões de toneladas, sendo que a produção total de grãos é de aproximadamente 163 milhões de toneladas. A capacidade estática de armazenagem de um país deve ser igual ou superior a 1,2 vez sua produção agrícola anual. Desta forma, seria necessária uma capacidade estática de mais de 195 milhões de toneladas, conferindo ao sistema de armazenagem e beneficiamento brasileiro uma grande defasagem, o que implica perdas qualitativa e quantitativa do produto final (FAO, 1998).

As unidades armazenadoras e beneficiadoras de grãos estão presentes no escoamento da safra de grãos, uma vez que, durante o processo de comercialização, terá que se contar com as operações de retirada de impurezas e redução de sua umidade para conservar o produto e otimizar o modelo de transporte (Ferrari, 2006). Batalha (1997) afirma que a cadeia produtiva inicia na agricultura, na pecuária e na pesca, é seguida pelas indústrias agroalimentares, pela distribuição agrícola/alimentar e, por fim, pelo comércio internacional e pelo

consumidor. Em todas estas etapas, há o setor de serviços de apoio. É neste setor que se encontram as unidades armazenadoras.

Na etapa de beneficiamento, os principais inconvenientes estão relacionados às injúrias mecânicas, geralmente agravadas pela secagem. Os danos e/ou as injúrias mecânicas são causadas por choques e abrasões do produto com superfícies mais duras, resultando em materiais quebrados, trincados, fragmentados, arranhados e inteiramente danificados (Fessel et al., 2003; Obando-Flor et al., 2004).

A etapa de secagem objetiva permitir antecipar a colheita, a fim de minimizar os efeitos prejudiciais das condições climáticas adversas, danos mecânicos e ataque de fungos e insetos, maximizando o peso e a qualidade dos grãos colhidos (Garcia et al., 2004). Para isso, este processo visa à retirada parcial da água dos grãos através da transferência simultânea de calor do ar para a massa de grãos por meio do fluxo de vapor de água, dos grãos para o ar, sendo um processo dinâmico, em função da umidade relativa do ar (Peske & Villela, 2003).

Estudos referentes ao processo de armazenamento de grãos são limitados no Brasil, sendo necessária maior investigação de suas particularidades, a fim de evitar perdas quantitativas de grãos e manter a qualidade dos mesmos em toda a cadeia produtiva (Schuh et al., 2011). A racionalização das etapas de limpeza e secagem pode garantir o melhor escoamento do produto dentro da unidade e assegurar a manutenção da qualidade final. Para tal, existem considerações técnicas, em cada uma dessas etapas, provenientes de experiências práticas e de trabalhos técnicos e científicos cuja investigação pode resultar em diferenciais quantitativos, qualitativos e, conseqüentemente, econômicos para a unidade, de modo a merecerem uma análise individual dentro do proces-

so. Neste estudo, buscou-se obter informações quanto ao comportamento operacional dos equipamentos utilizados no beneficiamento de milho. Foram avaliados parâmetros funcionais e comparadas práticas operacionais, com vistas a racionalizar as atividades da unidade.

O trabalho foi conduzido na Cooperativa Agropecuária e Industrial do Paraná, localizada em Marialva, PR, Brasil, situada à latitude de 23° 29' Sul, longitude 51° 47' Oeste e altitude de 670 m. A unidade objeto de estudo possui uma capacidade estática de armazenagem de 1.100.000 sacas ou 66.000 toneladas de produto.

Acompanharam-se as etapas de beneficiamento do milho safrinha em busca de informações quanto à capacidade de operação e à eficiência nas diferentes etapas dos sistemas e equipamentos. Os procedimentos adotados na avaliação operacional da unidade foram ajustados à condição de trabalho de cada etapa e/ou equipamento no processo de pós-colheita do milho safrinha.

O acompanhamento da recepção do produto fez-se necessário para garantia da segregação do produto nas moegas, considerando a proximidade dos graus de umidade de recebimento e da porcentagem de impurezas e quebrados do produto recebido.

Para avaliação do sistema pré-limpeza, realizaram-se análise do comportamento funcional das máquinas e determinação da capacidade operacional e eficiência. A capacidade de operação do sistema foi caracterizada pela quantidade de produto ($t\ h^{-1}$) transportado pela fita e submetido à limpeza em cada operação. Já a eficiência de limpeza foi determinada por meio da relação entre a porcentagem de impurezas e materiais estranhos retidos na operação das máquinas e a porcentagem de entrada desses elementos no sistema.

Quanto ao sistema de secagem, a unidade de beneficiamento e armazenamento é dotada de um secador do tipo cascata e a operação ocorreu em altas temperaturas, com fluxo misto de distribuição de ar, sem reaproveitamento de calor. Para o sistema, foram verificados os procedimentos operacionais praticados e o funcionamento operacional do secador. A capacidade de operação do secador foi obtida pela divisão entre a quantidade de produto submetida à secagem e o tempo de secagem. A quantidade de produto submetida à secagem foi identificada como a mesma da operação de pré-limpeza, tendo em vista que o secador operou em regime de rodízio. O tempo de secagem foi determinado com cronômetro, considerado o intervalo entre a partida do sistema de pré-limpeza e o início da descarga do secador.

No sistema de limpeza, realizou-se a determinação da porcentagem dos produtos retidos e padronizados pelas máquinas, as impurezas e os quebrados. A partir desses materiais, foram determinadas a eficiência e a capacidade de operação do sistema e mensuradas a porcentagem de quebra decorrente do beneficiamento e sua representação econômica. A eficiência desse sistema foi determinada a partir da relação entre a porcentagem de impurezas que entram nas máquinas e as que são retidas pelo sistema. Já o desempenho da operação foi mensurado utilizando-se da capacidade da fita e do tempo de operação do sistema.

Tendo em vista que a amostragem do trabalho, realizada a campo, não conta com o fator de aleatoriedade, a análise estatística teve como base testes não-paramétricos. Os testes foram realizados de modo a comprovar a hipótese de diferença significativa, em nível de 0,05 (95% de confiança), entre as repetições operacionais de cada sistema para um mesmo produto e entre as médias operacionais dos produtos. O teste

H de Kruskal-Wallis, que é empregado para análise de k (várias) amostras de uma mesma população, ou de populações diferentes foi utilizado para verificar a diferença entre repetições de operações.

Quanto à segregação do produto nas moegas foi observado que a mesma fica a cargo de uma logística operacional estabelecida pelo recebedor das cargas, tendo em vista que as características do produto são ainda desconhecidas. Segundo Kolling (2006), a segregação do produto nas unidades de armazenamento deve estar condicionada à diferenciação de umidade e/ou porcentagem de impurezas do produto, sendo que o uso inadequado das moegas pode interferir na qualidade final dos produtos agrícolas.

Devido ao fato de a classificação do produto ser feita após o descarregamento do mesmo nas moegas, inviabiliza-se a segregação da massa de grãos por características semelhantes, como umidade, impureza e presença de insetos. Assim, a disposição de uma série de moegas torna-se irracional, a não ser pela diversidade de produtos passíveis de recebimento.

Na melhor condição de trabalho, o sistema de pré-limpeza alcançou 48 t h^{-1} e reteve 34% das impurezas (Tabela 1), sendo a capacidade especificada 60 t h^{-1} para as duas máquinas. Esperava-se que a pré-limpeza reduzisse em pelo menos 50% as impurezas, deixando a massa de grãos total com um limite de 1% de impurezas e matérias estranhas (Bragatto & Barrella, 2001). Na média das operações analisadas, o sistema apresentou capacidade de operação de $47,2 \text{ t h}^{-1}$, com eficiência de limpeza de 37,5%.

O produto apresentava alto grau de umidade no início do beneficiamento (média de 20,7%), o que representa um entrave ao correto desenvolvimento do

processo de pós-colheita, bem como pode representar um maior teor de impureza dos grãos (Alves et al., 2001). Este alto grau de umidade exige maiores cuidados, tanto no processo de pré-limpeza, como no processo de secagem do produto.

O sistema de secagem (Tabela 2) operou com temperatura média do ar de $65,3 \text{ }^\circ\text{C}$, resultando em temperatura média do produto de $34,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Segundo Portella (2001), recomenda-se que a temperatura de secagem não exceda $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para altos níveis iniciais de umidade, podendo chegar gradativamente até $80 \text{ }^\circ\text{C}$ quando estiver próxima de 14%. Quanto ao produto, o mesmo deve sair do secador com temperatura entre 6 e $8 \text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura ambiente (Villela & Silva, 1992). O sistema operou dentro do esperado quanto à temperatura do ar de secagem ($65,3 \text{ }^\circ\text{C}$) e, considerando a temperatura média do produto ($34,8 \text{ }^\circ\text{C}$) e do ambiente, que variaram entre 25 e $33 \text{ }^\circ\text{C}$, não verificaram-se problemas quanto ao resfriamento.

Em regime de rodízio, o tempo médio de secagem do milho foi de duas horas e trinta e seis minutos. Considerando a umidade inicial (20,7%) e o tempo de secagem verificado, infere-se que o sistema poderia realizar a operação em duas horas, sem comprometer a qualidade do produto, uma vez que, segundo Franceschini (1997), para o milho, recomenda-se a remoção de três pontos percentuais de umidade por hora. Isso sem comprometimento da qualidade do produto.

A capacidade de operação do sistema é dependente do tempo de secagem e do regime de trabalho, sendo verificado número máximo de $21,4 \text{ t h}^{-1}$. Para a média, o sistema apresentou capacidade de operação de $18,5 \text{ t h}^{-1}$. Considerando que o sistema foi dimensionado para 65 t h^{-1} , ainda que em rodízio, ele apresenta capacidade de operação bem abaixo da esperada.

TABELA 1. Comportamento operacional do sistema de pré-limpeza de milho.

Amostras	Características do produto (%)			Impureza retida (%)	Capacidade de operação (t h ⁻¹)
	Umidade	Impureza	Quebrado		
Operação 1	20,9	0,44	0,73	0,17	46,8
Operação 2	20,6	0,38	1,03	0,18	47,4
Operação 3	21,2	0,56	1,05	0,19	48,0
Operação 4	20,1	0,47	0,93	0,16	46,5
Teste H	0,474 < 7,81				
Média Final	20,7	0,48	0,93	0,18	47,2

Na etapa de limpeza dos grãos de milho (Tabela 3), a umidade inicial média foi de 12,8%, sendo que a mesma difere da umidade de saída do secador, que foi 13,3%, conforme Tabela 2. Isto se deve ao fato de o produto ser processado horas depois da secagem, o que permite o resfriamento completo da massa e a diminuição da umidade.

A porcentagem de quebrados retida ao final do processo de limpeza foi de 2,9%. Esta porcentagem é maior que a obtida na entrada do sistema (2,05%). Isso ocorre, pois o próprio sistema de limpeza apresenta-se como causador de danos ao pro-

duto, o que pode ser explicado pelas elevadas umidades iniciais do produto, uma vez que, segundo Alves et al. (2001), verifica-se que a susceptibilidade à quebra dos grãos é maior com o aumento do teor de umidade de colheita.

Os elevadores de grãos, no momento da realização dos testes, apresentavam problemas mecânicos e elétricos, destacando-se o contato de canecas por motivo da permanência do elevador em operação, mesmo sem carga, por problemas na chave de acionamento, o que pode ter elevado a porcentagem de injúrias nos grãos.

TABELA 2. Médias amostrais dos parâmetros umidade inicial (UI), temperatura de secagem (TS), temperatura do produto (TP), umidade final (UF), quantidade de ar (QA), tempo de secagem (TeS), consumo de lenha (CL) e capacidade de operação (CP) na operação com milho safrinha.

Amostra	UI (%)	TS (°C)	TP (°C)	UF (%)	QA (m ³ h ⁻¹)	TeS (h)	CL (m ³ h ⁻¹)	CP (t h ⁻¹)
Operação 1	20,9	59,8	34,2	13,4	82871,5	2:30	1,5	18,7
Operação 2	20,6	68,0	35,4	13,8	84661,3	2:13	1,5	21,4
Operação 3	21,2	66,7	34,9	13,2	84803,3	2:50	1,5	17,0
Operação 4	20,1	66,7	34,8	12,8	85458,7	2:45	1,5	16,9
Teste H	1,54 < 7,81							
Média Final	20,7	65,3	34,8	13,3	84448,7	2:36	1,5	18,5

TABELA 3. Médias dos parâmetros operacionais umidade (U), impureza (I) e grãos quebrados (Q) para as características obtidas no produto; impureza (I), quirela (Qu) e quebrado (Qb) para a matéria retida na amostragem; e capacidade de operação.

Amostra	Características do Produto (%)			Matéria Retida (%)			Capacidade de operação (t h ⁻¹)
	U	I	Q	I	Qu	Qb	
Operação	12,5	1,08	2,08	0,28	0,45	2,8	60,3
Operação	13,1	0,95	2,13	0,29	0,46	2,9	62,5
Operação	12,6	0,93	2,05	0,31	0,47	3,0	64,6
Operação	13,0	0,95	1,95	0,28	0,44	2,9	61,2
Teste H	0,309 < 7,81						
Média final	12,8	0,98	2,05	0,29	0,45	2,9	62,2

Quanto à capacidade de operação do sistema, obteve-se, na melhor condição operacional, 64,6 t h⁻¹, com média de 62,2 t h⁻¹. Na análise da eficiência, considerou-se que a impureza de entrada no sistema de limpeza, em média de 0,98%, inclui a quirela de milho, que no ato da operação das máquinas é segregada. Desta forma, obteve-se como impureza retida a soma da impureza e a quirela, obtendo-se a média de 0,74%. Assim, a eficiência do sistema foi da ordem de 75,5%, ficando dentro do esperado para a prática.

O sistema de pré-limpeza apresentou baixa eficiência de limpeza e capacidade de operação inferior ao especificado pelo fabricante.

O sistema de secagem apresentou baixa capacidade de operação, condicionando o produto a elevados gradientes de umidade e submetendo-o à secagem excessiva.

O sistema de limpeza apresenta graves problemas quanto à qualidade do processo, retendo mais impureza do que a amostra na entrada do sistema, evidenciando ser um agente de injúrias aos grãos de milho.

Referências

- AGRIANUAL, Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo. FNP Consultoria e Agro Informativos, 2010.
- ALVES, W. M.; ANTONINO FARONI, L. R.. D.; QUEIROZ, D. M.; CORRÊA, P. C.; GALVÃO, J. C. C. 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.
- BATALHA, M. O. Gestão agroindustrial. São Paulo; Atlas, 1997.
- BRAGATTO, S. A.; BARRELLA, W. D. Otimização do Sistema de Armazenagem de Grãos: Um estudo de caso. **Revista Produção**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2001.
- CONAB. **Levantamento da safra de grãos 2010/2011**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 10 mar. 2012. Mudar no texto a entrada comissão para Conab.
- FAO. **Better information sharing could reduce post-harvest food losses** - New database launched. FAO. Rome, 1998. Disponível em: < http://www.fao.org/

- WAICENT/OIS/PRESS_NE/PRESSENG/1998/pren9847.htm >. Acesso em: 04 out. 2011.
- FERRARI, R. C. **Utilização de modelo matemático de otimização para identificação de locais para instalação de unidades armazenadoras de soja no estado do Mato Grosso**. 2006. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FESSEL, S. A.; SADER, R.; PAULA, R. C.; GALLI, J. A. Avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de milho durante o beneficiamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 25, n. 2, p. 70-76, 2003.
- FRANCESCHINI, A. S. **Danos mecânicos, qualidade fisiológica e desenvolvimento populacional de *Tribolium* spp. em milho híbrido BR 201, submetido a diferentes condições de secagem**. 1997. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- GARCIA D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.
- KOLLING, E. M. Desinfestação de pragas nas unidades de armazenamento. **Grãos Brasil**, Maringá, n. 23, p.7-8, 2006.
- OBANDO-FLOR, E. P.; CICERO, S. M.; FRANÇANETO, J. B.; KRZYZANOWSK, F. C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 26, n. 1, p. 68-76, 2004.
- PESKE, S. T.; VILLELA, F. Secagem de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M.; ROTA, G. R. M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003. p. 283-322.
- PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.
- SCHUH, G.; GOTTARDI, R.; FERRARI FILHO, E.; ANTUNES, L. E. G.; DIONELLO, R. G. Efeitos de dois métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha - RS, armazenados por 6 meses. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 235-244, 2011.
- PARANÁ. Secretaria de Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Evolução da área colhida, produção, rendimento, participação e colocação Paraná/Brasil**. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/cprbr.pdf>> Acesso em: 26 mar. 2012.
- VILLELA, F. A.; SILVA, W. R. da. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.49, n. 1, p.145-153, 1992.