



Avaliação técnica e operacional de sistema de beneficiamento de trigo operando na região norte do Paraná¹

Technical and operational evaluation of a system for wheat processing operating in northern Paraná

Evandro Marcos Kolling² *, Emerson Trogello³, Alcir José Modolo⁴

Resumo: A cultura do trigo apresenta importância no âmbito nacional e internacional. Em nível de Brasil a mesma vem apresentando crescimento em área, produtividade e conseqüentemente em produção. Este crescimento, no entanto, não é acompanhado pelos processos de beneficiamento de grãos, os quais apresentam, por vezes limitações no processo de limpeza, secagem e armazenamento. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho analisar técnica e operacionalmente uma unidade de beneficiamento e armazenagem de grãos de trigo situada na região norte do Estado do Paraná, com vistas à identificação e avaliação de equipamentos, procedimentos operacionais e pontos de estrangulamento. O estudo abrange etapas referentes à pré-limpeza, secagem, limpeza e armazenamento de grãos da cultura do trigo. O procedimento geral dos testes foi baseado na determinação das características iniciais, decorrentes e finais dos produtos e das operações de beneficiamento, a fim de determinar o rendimento e eficiência dos equipamentos dispostos ao longo do sistema. Observou-se condições inadequadas de manutenção de uma série de equipamentos. A segregação do produto nas moegas ocorre sem levar em consideração a amostragem de entrada do produto. O número de moegas existentes fornece apenas condições à recepção de diferentes produtos, fato que condiciona a formação de lotes de grãos com caracteres divergentes, vindo a influir negativamente ao longo de todo o processo. O sistema de secagem e limpeza apresentou, ainda, rendimento insatisfatório. Conclui-se que, a unidade amostrada não está de acordo com caracteres técnicos, gerando perdas quantitativas e qualitativas nos grãos de trigo.

Palavras-chave: Eficiência e rendimento do sistema. *Triticum aestivum*. Uniformidade da massa de grãos.

Abstract: The cultivation of wheat is of importance at both domestic and international levels. Brazil has seen an increase in area, productivity and consequently, in production. Such growth, however, has not been accompanied by changes in the procedures for processing the grain, which sometimes present limitations on the cleaning, drying and storage processes. The aim of this work therefore was to analyse, both technically and operationally, a wheat grain processing and storage unit located in the north of the state of Paraná, Brazil, with a view to identifying and evaluating equipment, operating procedures and bottlenecks. This study covers the various stages of pre-cleaning, drying, cleaning and storage of a crop of wheat grain. The general procedure for the tests was based on determination of the initial, resulting and final characteristics of the products, and of the processing operation, so as to establish the yield and efficiency of equipment set up throughout the system. Inadequate maintenance was noted for various pieces of equipment. Separation of the product in the hoppers takes place without taking into account samples of the product taken at input. The current number of hoppers is only enough to receive different products, a fact that results in the formation of grains lots of differing characteristics, and has a negative influence on the whole process. The system for drying and cleaning also performed inadequately. In conclusion, the sample unit does not have the necessary technical characteristics, resulting in both quantitative and qualitative loss of the wheat grain.

Key words: System efficiency and performance. *Triticum aestivum*. Uniformity of grain weight.

*Autor para correspondência.

Enviado para publicação em 20/08/2014 e aprovado em 24/04/2015.

¹Trabalho extraído de parte da Tese de Doutorado do primeiro autor.

²Professor Doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo. Rua Cristo rei, 19, Toledo, PR – Brasil, kolling@utfpr.edu.br

³Professor Doutor do Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos - Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, emerson.trogello@ifgoiano.edu.br

⁴Professor Doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. Via do Conhecimento, Km 1, Pato Branco - PR – Brasil, alcir@utfpr.edu.br

INTRODUÇÃO

O Brasil produziu na safra de 2014 aproximadamente 193,55 milhões de toneladas de grãos das culturas de verão e inverno. Desta produção total de grãos, a cultura do trigo deteve 2,95%. O Brasil semeou, assim, 2,73 milhões de hectares, alcançando produtividade média de 2.162 kg ha⁻¹, e consequente produção de 5,90 milhões de toneladas. No estado do Paraná, a safra de 2014 apresentou clima adverso o que culminou em uma produção de 3,72 milhões de toneladas, ficando abaixo do esperado, mas representando 63,05% da produção nacional (Companhia Nacional de Abastecimento, 2015). Com esta produção nacional, a necessidade de importação no período foi de 6,65 milhões de toneladas devido à perda de quantidade e qualidade da produção tritícola na Região Sul. Isto evidencia que a necessidade de crescimento de produção ainda é extremamente importante para o setor agropecuário.

A agricultura vem apresentando crescimento na produção de grãos ano após ano. E o investimento na melhoria de cultivares e adaptação, adubação e práticas fitotécnicas garante maior produtividade de diversas culturas. O processo ocorrido “dentro da porteira” está bem tecnificado, entretanto os processos “fora da porteira” preocupam o setor agropecuário. Desta forma, junto com os esforços para o aumento da produtividade, é fundamental que se aprimore o processo de colheita e beneficiamento de grãos (KOLLING *et al.*, 2012b).

Os principais inconvenientes quando do beneficiamento de grãos estão relacionados às injúrias mecânicas causadas por choques do produto com superfícies mais duras, resultando em materiais danificados (FESSEL *et al.*, 2003; OBANDO-FLOR, 2004), os quais se tornam mais susceptíveis à entrada de fungos e perdem valor econômico (MARCHI *et al.*, 2006).

As operações de pré-limpeza e limpeza visam a retirada de impurezas e a homogeneização do lote de sementes, garantindo que apenas o produto grão siga para beneficiamento e armazenagem. O correto funcionamento destas operações aumenta a capacidade das máquinas de classificação e propiciam secagem satisfatória e armazenamento seguro (TEIXEIRA, 2003). A secagem pode influenciar diretamente a qualidade tecnológica do grão de trigo (ELIAS *et al.*, 2009) e deve ser realizada até obtenção de um produto uniforme e de umidade adequada, maximizando o tempo de armazenamento e a qualidade do produto armazenado (BAUDET *et al.*, 1999; ULLMANN *et al.*, 2010). O adequado manejo das etapas de limpeza e secagem pode garantir melhor eficiência do sistema de beneficiamento e contribuir na manutenção da qualidade final do produto (KOLLING *et al.*, 2012a). Para isto deve-se ter acompanhamento técnico, experimental e de pesquisa das etapas de beneficiamento (SCHUH *et al.*, 2011).

Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho levantar características técnicas funcionais dos equipamentos empregados no beneficiamento do trigo, assim como analisar os procedimentos operacionais adotados no trato da cultura em unidade beneficiadora e armazenadora de grãos localizada no norte do estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma Cooperativa Agropecuária, localizada no norte do estado do Paraná, situada à latitude de 23°29' Sul, longitude 51°47' Oeste e altitude média de 670 metros. A unidade de beneficiamento foi avaliada no recebimento da safra de trigo de 2006. Os componentes do fluxo de beneficiamento da unidade amostrada constituem-se de: seis moegas em concreto com superfície metálica vazada com capacidade individual de 180 t; duas máquinas de pré-limpeza modelo PL40, constituída de duas peneiras e um sistema de ventilação por aspiração com capacidade individual de 40 t h⁻¹; um secador modelo CB65, tipo cascata, com fluxo misto de distribuição de ar em alta temperatura, sem reaproveitamento de calor com capacidade individual de 65 t h⁻¹; duas máquinas de limpeza modelo SP160, constituídas de duplo conjunto de peneiras e sistema de múltipla aspiração com capacidade individual de 45 t h⁻¹; um armazém graneleiro de fundo V com 3 células de estocagem e capacidade individual de 42.000 t.

Verificou-se a etapa de recepção pela pesagem e operação de amostragem da carga. Avaliou-se os instrumentos empregados na classificação do produto, os procedimentos de manipulação das amostras, as práticas de descontos e as formas de segregação do produto.

A carga é pesada por meio de balança eletrônica e encaminhada para a descarga considerando disponibilidade de espaço e logística estabelecida pelo recebedor. Realiza-se a amostragem do produto na descarga (coleta nas bicas), coletando-se aproximadamente 5 kg, dos quais 500 g são destinados à classificação. Considera-se como grãos quebrados e triguilho o que passa pela peneira de crivo oblongo de 1,75 mm. Impureza é composta pela catação manual de matérias estranhas sobre esta peneira. A umidade do produto é determinada ao utilizar um aparelho marca GEHAKA, modelo G800.

Avaliou-se o sistema de pré-limpeza pelas informações quanto aos quesitos empregados na regulação das máquinas, uniformidade de distribuição do produto nas peneiras e funcionamento do sistema de ventilação; estas informações foram coletadas de forma visual, avaliando o funcionamento dos sistemas. O rendimento foi caracterizado pela quantidade de produto (t h⁻¹) submetido à pré-limpeza, em cada operação. A eficiência foi determinada por meio da relação entre a porcentagem de impurezas retidas na

operação e a porcentagem de entrada desses elementos no sistema (amostragem na recepção).

A umidade inicial e final do sistema de secagem foram obtidas utilizando-se o determinador de umidade Universal, aferido pelo determinador G800. Amostras foram coletadas em intervalos de 15 min a partir do início da descarga, em mínimo de quatro repetições. A temperatura de secagem foi verificada durante cada operação por meio do termômetro constituinte do sistema. A temperatura do produto foi determinada a partir das amostras do produto, coletadas no caracol de descarga do secador. Cada amostra foi acondicionada em copo de isopor, junto a um termômetro de mercúrio e, após a estabilização foi efetuada a leitura.

A quantidade de ar empregada foi determinada em cada entrada do sistema (fornalha, ciclone e resfriamento), multiplicando-se a área das entradas pela velocidade do ar em cada amostragem. O tempo de secagem foi definido como a diferença entre os horários de cada carregamento do secador. A quantidade de lenha exigida foi determinada pela massa de lenha consumida no período de um dia de secagem, dividida pelo número de operações do dia. O volume foi determinado pela razão entre a massa consumida por operação e a massa específica da lenha, no caso 425 kg m⁻³, conforme sugerido por Silva (2006). O rendimento de secagem constitui a quantidade de produto secado por hora de operação do secador.

A eficiência e o rendimento do sistema de limpeza seguiram a metodologia descrita para o sistema de pré-limpeza. O índice de quebrados foi baseado na porcentagem de quebrados segregados pelas máquinas, obtidos a partir

do rendimento do sistema e da pesagem do volume de quebrados retidos. Os quebrados seguiram duas classificações comercialmente praticadas para o trigo: os retidos na peneira 1,75 mm e os quebrados de fundo de peneira.

Tendo em vista que a amostragem não conta com o fator de aleatoriedade, a análise estatística teve como base, testes não-paramétricos (SPIEGEL, 1993). A aplicação dos testes foi realizada de modo a comprovar a hipótese de diferença significativa, em nível de $p \leq 0,05$, entre quatro repetições operacionais realizadas dentro de cada sistema pelo teste H de Kruskal-Wallis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O registro da pesagem, antes da caracterização do produto, condiciona a unidade a certa obrigatoriedade no recebimento da carga. A prática de amostragem nas bicas de descarga não segue conformidade com as normas estabelecidas e em geral penaliza o entregador por apresentar sempre mais impurezas do que a real condição da carga. A classificação realizada após o descarregamento inviabiliza a segregação do produto quanto às características de umidade, impureza, etc., comprometendo o fluxo de beneficiamento do produto.

Não houve diferença entre as médias de cada operação do sistema de pré-limpeza do trigo pelo teste H (Tabela 1). O trigo apresentou PH médio de 78,4 sendo caracterizado como trigo tipo 1.

Tabela 1 - Comportamento do peso hectolitro (PH), umidade, impureza, triguilho, impureza retida (IR) e rendimento do sistema (RS) nas diferentes operações (Op) dentro do sistema de pré-limpeza do trigo

Table 1 - Behaviour of hectolitre weight (PH), moisture, impurities, wheat, retained impurity (IR) and system performance (RS), for different operations (OP) in the pre-cleaning system for wheat

| F.V. | PH (kg hl ⁻¹) | Umidade (%) | Impureza (%) | Triguilho (%) | IR (%) | RS (t h ⁻¹) |
|---------|---------------------------|-------------|--------------|---------------|--------|-------------------------|
| Op. 1 | 78,25 | 19,55 | 1,30 | 0,80 | 0,60 | 53,70 |
| Op. 2 | 78,25 | 20,50 | 1,80 | 0,82 | 0,85 | 64,10 |
| Op. 3 | 78,25 | 19,22 | 1,20 | 1,07 | 0,53 | 60,10 |
| Op. 4 | 78,50 | 18,57 | 1,12 | 0,70 | 0,40 | 62,50 |
| Média | 78,31 | 19,46 | 1,35 | 0,84 | 0,59 | 60,10 |
| Teste H | 0,301 < 7,81 | | | | | |

O sistema apresenta rendimento médio da ordem de 60,10 t h⁻¹, com eficiência (relação entre a impureza amostrada e a impureza retida no sistema) de limpeza de 44% (Tabela 1). Este rendimento do sistema de pré-limpeza ficou abaixo das 80 t h⁻¹ esperadas, conforme capacidade individual das máquinas (Tabela 1). As máquinas operam cargas diferentes de produto devido a problemas no distribuidor (bifurcada). O sistema de ventilação das máquinas é precário e não permite regulagem, pela prática de não se utilizar sacos ciclones na saída do ar.

A secagem é operação crítica, e se inadequada constitui a principal causa de deterioração de sementes e grãos (CARNEIRO *et al.*, 2005). A secagem do trigo foi realizada com o secador operando em torre inteira e em regime de rodízio. A alta umidade inicial do produto (Tabela 2) contribui na decisão pela forma de operação.

Conforme Tabela 2 não houve diferença entre as médias de cada operação de secagem do trigo pelo teste H, evidenciando homogeneidade de trabalho do secador utilizado pela empresa. A temperatura do produto não

Tabela 2 - Comportamento da umidade inicial (U_i), temperatura de secagem (T_s), temperatura do produto (T_p), umidade final (U_f), quantidade de ar (Q_a), tempo de secagem (T_s), consumo de lenha (Cl) e rendimento do sistema (R_s) nas diferentes operações (Op) do sistema de secagem de trigo

Table 2 - Behaviour of initial moisture (U_i), drying temperature (T_s), product temperature (T_p), final moisture (U_f), air quantity (Q_a), drying time (T_s), wood consumption (Cl) and system performance (R_s), for different operations of the wheat drying system

| F.V. | U_i (%) | T_s (°C) | T_p (°C) | U_f (%) | Q_a (m ³ h ⁻¹) | T_s (h) | Cl (m ³ h ⁻¹) | R_s (t h ⁻¹) |
|---------|------------|------------|------------|-----------|---|-----------|--|----------------------------|
| Op.1 | 19,60 | 65,83 | 35,72 | 11,85 | 81723,00 | 02:46 | 1,70 | 19,40 |
| Op.2 | 20,50 | 61,50 | 36,00 | 13,28 | 82025,40 | 02:55 | 1,70 | 22,00 |
| Op.3 | 19,20 | 60,33 | 36,00 | 12,83 | 81989,60 | 03:00 | 1,70 | 20,10 |
| Op.4 | 18,60 | 60,67 | 35,98 | 13,06 | 82147,90 | 02:40 | 1,70 | 23,50 |
| Média | 19,47 | 61,80 | 35,93 | 12,75 | 81.971,48 | 02:50 | 1,70 | 21,25 |
| Teste H | 0,109<7,81 | | | | | | | |

ultrapassou 36 °C, ficando abaixo dos valores máximos exigidos de 40-43°C (ELIAS *et al.*, 2009). A umidade final variou de 11,85 a 13,28% nas diferentes operações. Esta variação é considerada elevada, pois o objetivo da secagem, além da retirada de água dos grãos, é a homogeneização da massa quanto a umidade final para armazenamento.

O sistema de limpeza operou com temperatura média do ar de secagem de 61,80 °C, ficando a temperatura do produto na média de 35,93 °C. Conforme Portella (2001), a faixa crítica de temperatura do ar para o trigo fica acima de 70 °C, apesar de temperaturas acima de 55 °C causarem desnaturação de proteínas.

A quantidade média de ar empregado na secagem do trigo foi de 81.971,50 m³ h⁻¹, muito aquém do potencial do exaustor (200.000 m³ h⁻¹). O tempo necessário para secagem do trigo foi, em média, 2 h e 50 min de operação. Mesmo apresentando baixa quantidade de ar o rendimento médio foi de 21,25 t h⁻¹, considerado aceitável pelas condições de trabalho.

Avaliação do sistema de secagem demonstrou que o mesmo é antigo e apresenta sinais de incêndios anteriores. Os equipamentos apresentaram rugosidade o que aumenta a resistência ao deslizamento normal do produto, o que pode potencializar novos incêndios pela maior retenção de resíduos no local e o maior tempo de permanência do

produto. A caixa de controle de alimentação do secador é pequena e, quando do regime de rodízio, pode favorecer a fuga do ar de secagem por não receber complementação, comprometendo o rendimento do sistema.

Na Tabela 3 observa-se que não houve diferença entre as médias de cada operação do sistema de limpeza do trigo pelo teste H. O PH do trigo passou de 78,40, observados na pré-limpeza, para 79,60 kg hl⁻¹. O resultado era esperado, haja vista que o produto foi previamente padronizado e secado. A umidade do produto mostra-se dentro dos parâmetros de comercialização e armazenagem (12,80%). A porcentagem média de impureza foi de 0,65% e o triguilho sofreu leve aumento em relação à pré-limpeza, com média de 1,01%, possivelmente pela quebra de produto, decorrente da movimentação do trigo.

A porcentagem de impureza média retida foi de 0,31%, o que, baseado na porcentagem de impureza de entrada de 0,64%, representa uma eficiência média de 48%. A porcentagem de grãos quebrados retirada constitui a soma da quirela e do triguilho (0,48%), perfazendo uma eficiência (relação entre o triguilho amostrado e a quirela e triguilho retidos) de 48% (Tabela 3).

Como observado no sistema de pré-limpeza, o sistema de ventilação das máquinas de limpeza também opera sem os sacos ciclones, impossibilitando sua regulagem

Tabela 3 - Comportamento do peso hectolitro (PH), umidade (U), impureza (I), triguilho (T), impureza retida (IR), quirela retida (QR), triguilho retido (TR) e rendimento do sistema (RS) nas diferentes operações (Op) do sistema de limpeza do trigo

Table 3 - Behaviour of hectolitre weight (PH), moisture (U), impurities (I), wheat (T), retained impurity (IR), retained chaff (QR), retained wheat (TR) and system performance (RS) for different operations of the wheat cleaning system

| F.V. | PH (kg hl ⁻¹) | U (%) | I (%) | T (%) | IR (%) | QR (%) | TR (%) | RS (t h ⁻¹) |
|---------|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------------------------|
| Op. 1 | 79,50 | 11,72 | 0,65 | 0,97 | 0,31 | 0,22 | 0,30 | 45,90 |
| Op. 2 | 80,00 | 13,62 | 0,77 | 1,05 | 0,37 | 0,27 | 0,34 | 49,90 |
| Op. 3 | 79,50 | 12,85 | 0,60 | 1,02 | 0,30 | 0,19 | 0,22 | 42,60 |
| Op. 4 | 79,50 | 13,05 | 0,55 | 1,00 | 0,25 | 0,18 | 0,19 | 41,90 |
| Média | 79,63 | 12,81 | 0,64 | 1,01 | 0,31 | 0,22 | 0,26 | 45,10 |
| Teste H | 0763<7,81 | | | | | | | |

de operação. O acompanhamento da etapa permitiu ainda, verificar a má distribuição da carga nas peneiras das máquinas, de modo que a tentativa de aumento da carga potencializou o derramamento de produto. A disposição dos pesos e a irregularidade da chapa de aparo contribuíram para o problema e podem explicar o baixo rendimento do sistema. Como apresentado na Tabela 3, a média de rendimento do sistema de limpeza foi $45,10 \text{ th}^{-1}$, o esperado para apenas uma das máquinas componente do sistema de limpeza.

CONCLUSÕES

É necessário rever os parâmetros técnicos para fim de otimizar o maquinário envolvido e ampliar o rendimento nos sistemas de pré-limpeza, secagem e limpeza;

A unidade tem características similares à maioria das unidades da região, podendo-se extrapolar a deficiência técnica observada nesta área na região em questão;

Melhorias no setor de beneficiamento e armazenamento de grãos devem ocorrer, pois há perdas qualitativas e quantitativas.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

BAUDET, L. M.; VILLELA, F.; CAVARIANI, C. Princípios de secagem. **Seed News**, v.3, n.10, p.20-27, 1999.

CARNEIRO, L.M.T.A.; BIAGI, J.D.; FREITAS, J.G.; CARNEIRO, M.C.; FELÍCIO, J.C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, v. 64, n.1, p.127-137, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, segundo levantamento, fevereiro de 2015. Brasília : Conab, 2013.

ELIAS, M. C.; LOPES, V.; GUTKOSKI, L. C.; OLIVEIRA, M.; MAZZUTTI, S.; DIAS, A. R. G. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv. 'Embrapa 16'). **Ciência Rural**, v.39, n.1, p.25-30. 2009.

FESSEL, A. S.; SADER, R.; PAULA, R. C.; GALLI, J. Á. Avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de milho durante o beneficiamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.25, n.2, p. 70-76, 2003.

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J. Inconvenientes técnico-operacionais de uma unidade beneficiadora e armazenadora de produtos agrícolas. **Engenharia na agricultura**, v.20, n.1, p. 52-59, 2012b.

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; DALLACORT, R. Análises técnica e funcional de um sistema de beneficiamento de cereais operando com milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.2, p. 202-208, 2012a.

MARCHI, J. L.; MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D.; CICERO, S. M. Relação entre danos mecânicos, tratamento fungicida e incidência de patógenos em sementes de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.3, p.351-358, 2006.

OBANDO-FLOR, E. P.; CICERO, S. M.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSK, F. C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.68-76, 2004.

PORTELLA, J. Á. **Secagem de grãos**. Passo Fundo, RS: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Embrapa, 2001. 194p.

SILVA, L. C. Operação de secadores cascata. Grãos Brasil, Maringá, PR, n.23, 9-14, 2006.

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**, v.32, n.1, p. 235-244. 2011.

SPIEGEL, M.R. Estatística. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1993. 642p.

TEIXEIRA, M. M.; MARTYN, P. J.; HARA, T.; CUNHA, J. P. A. R. Propriedades físicas e aerodinâmicas aplicadas ao projeto de máquinas de limpeza para grãos de milho. **Engenharia na Agricultura**, v.11, p.1-4, 2003.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial, **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010