

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS PARA ÁREA DE PÓS-COLHEITA

Emanuely de Souza Salles¹; Yago Jorge Lopes Peixoto²; Luiz Gustavo Soares;³

José Gabriel Vieira Neto⁴

¹ Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná. Jandaia do Sul – PR. E-mail: emanuely.salles@ufpr.br

² Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná. Jandaia do Sul – PR. E-mail: yago.peixoto98@gmail.com

³ Estudante de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná. Jandaia do Sul – PR. E-mail: luiz.gustavo.soares.2000@outlook.com

⁴ Professor de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná. E-mail: jose.vieira@ufpr.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar dois protótipos experimentais aplicados à pós-colheita: um silo secador-armazenador automatizado e um silo de simulação de explosão. O primeiro buscou otimizar os processos de secagem e aeração de grãos, oferecendo soluções acessíveis a pequenos e médios produtores. O segundo foi construído para demonstrar, em escala reduzida, os riscos de explosões em unidades armazenadoras. O silo secador-armazenador foi construído com tambor de 200 L, fundo metálico perfurado para ventilação, aquecimento com resistências elétricas (4000 W) e sensores DS18B20 conectados ao sistema de automação via aplicativo móvel. Os ensaios mostraram que o sistema atingiu até 81 °C, temperatura eficaz para secagem, além de permitir controle remoto e tomada de decisão autônoma para a aeração, reduzindo perdas. Já o silo de explosão foi confeccionado a partir de tambor metálico de 50 L adaptado com cone de aço, mangueira e vedação. A simulação consistiu em suspender farinha no ar e inflamá-la com vela, resultando em explosão controlada. O modelo mostrou eficácia didática ao evidenciar as condições que favorecem explosões em silos: poeira suspensa, oxigênio e fonte de ignição. Os resultados demonstram que ambos os protótipos têm relevância no avanço de soluções tecnológicas e no ensino. O silo secador-armazenador mostrou-se alternativa de baixo custo para a agricultura familiar, enquanto o silo de explosão reforçou a importância da manutenção e limpeza das unidades armazenadoras.

1. INTRODUÇÃO

A produção de grãos no Brasil, enfrenta desafios significativos na pós-colheita, especialmente quando se fala em secagem e armazenamento. De acordo com CONAB (2024), a safra nacional 2023/2024, apesar de ser a segunda maior da história, registrou uma queda de 21,4 milhões de toneladas, evidenciando a vulnerabilidade da produção a fatores climáticos e a necessidade de sistemas eficientes para mitigar perdas.

A secagem é uma etapa crucial para garantir a qualidade e estabilidade dos grãos, controlando a atividade biológica e a umidade. Portanto, o armazenamento subsequente

expõe os grãos a riscos como deterioração por fatores ambientais e a possibilidade de explosões em silos. Esses eventos são causados pela combinação de poeira suspensa, oxigênio e uma fonte de ignição, sendo o milho um grão particularmente volátil, ele representa sérios perigos materiais e à segurança física dos trabalhadores. Diante desses cenários, este estudo objetivou o desenvolvimento de protótipos experimentais de baixo custo para aprofundar a compreensão desses fenômenos e oferecer soluções práticas para pequenos produtores.

Foram confeccionados um silo secador-armazenador, focado na otimização da secagem e aeração, e um silo de explosão, destinado à simulação controlada de explosão, visando aprimorar as práticas de segurança e conservação de grãos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Protótipo do silo secador-armazenador

O protótipo do silo secador-armazenador foi desenvolvido em escala reduzida (1:10), utilizando um tambor de 100 litros, chapa metálica, solda, rebites e parafusos para sua estrutura, com corpo, duto de entrada, chapéu e respiro, com acabamento pintado. O sistema de aquecimento e circulação do ar consistiu em um ventilador acoplado a um motor e duas resistências elétricas de secadores de cabelo, totalizando 4000 W.

As resistências foram fixadas em tubos de ferro soldados ao silo e revestidos com capas de ABS (impressão 3D) para segurança, enquanto o tubo de conexão foi feito de PLA (impressão 3D) e vedado com PET aquecidas para a deformação. Para monitoramento e controle, foram empregados sensores DS18B20 para medição precisa da temperatura interna e um aplicativo para monitoramento em tempo real e automação da aeração, visando otimizar a secagem, reduzir perdas e eliminar o uso de combustíveis fósseis. Todo o conjunto foi montado em uma base de madeira de 1,45 m por 0,60 m, garantindo facilidade para ensaios laboratoriais. O sistema de monitoramento, controle e automação foi desenvolvido em dois microcontroladores, sendo um ESP8266 e outro ESP32, que se comunicavam via Firebase, permitindo a tomada de decisão autônoma com base em dados ambientais e internos do silo.

2.2. Protótipo do silo de explosão

Esse protótipo foi construído a partir de um tambor metálico de 50 litros, sendo que para a simulação, um cone de aço foi rebitado na parte inferior do tambor para armazenar a farinha, e uma perfuração lateral no cone permitiu a conexão de uma mangueira resistente a altas temperaturas. A vedação do sistema foi assegurada por cinta metálica, moldada e rebitada, equipada com presilhas para garantir o fechamento sob pressão e a estanqueidade.

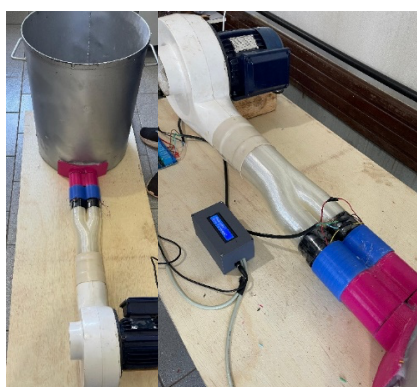
Para o experimento, preencheu-se parcialmente o cone com farinha, posicionou-se uma vela acesa no interior do tambor como fonte de ignição, fechou-se o bocal com papel sulfite A1 e foi soprado ar através da mangueira para suspender a farinha no ar, resultando

em uma explosão controlada ao contato com a chama.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os ensaios, a temperatura no *plenum* do silo secador-aerador alcançou 81 °C, evidenciando a capacidade operacional do sistema em oferecer tanto a aeração com ar ambiente quanto a secagem forçada com resistências elétricas. Essa flexibilidade possibilita a condução da secagem em uma faixa de 40 a 70 °C, intervalo comumente recomendado para a preservação da qualidade de grãos destinados ao consumo comercial (BOTELHO, 2015).

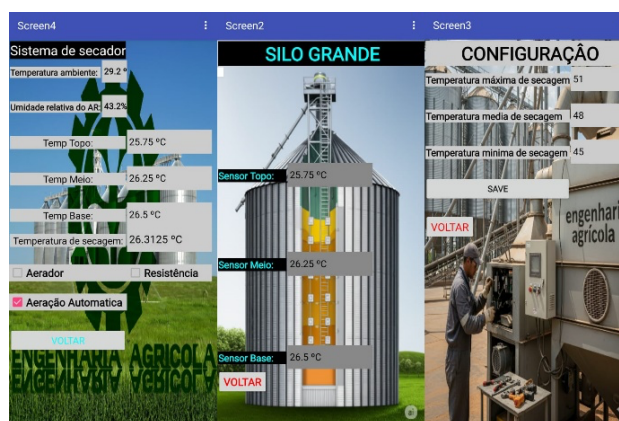
Figura 1 – Protótipo do silo secador-armazenador



Fonte: Autor, 2025.

A definição de temperatura de secagem, o monitoramento do cabo termométrico, bem como o acionamento do sistema é possível de se realizar no aplicativo desenvolvido, conforme Fig. 2. A integração de sensores e sistemas inteligentes de automação vai ao encontro das diretrizes da Agricultura 4.0, que preconiza o uso da Internet das Coisas (IoT) e da análise de dados para otimizar processos agrícolas (EMBRAPA, 2019). Além disso, o monitoramento remoto e a tomada de decisão autônoma para a aeração apresentam potencial para reduzir o consumo energético e aumentar a eficiência operacional, aspectos de grande interesse para pequenos e médios produtores rurais (IBGE, 2023; CONAB, 2024).

Fig. 2 – Aplicativo desenvolvido.



Fonte: Autor, 2025.

Em paralelo, o protótipo de silo de explosão (Fig. 3) demonstrou grande valor como

ferramenta de ensino e conscientização. A possibilidade de replicar, em escala reduzida, os riscos de explosões em ambientes armazenadores contribui para a formação de profissionais mais preparados para lidar com protocolos de segurança no trabalho agrícola.

Estudos apontam que a ausência de procedimentos de limpeza, aliada à concentração de poeira em suspensão, continua sendo um dos principais fatores que explicam acidentes em silos no Brasil e no exterior (MARQUES et al., 2021). Assim, a simulação experimental aqui conduzida evidencia a necessidade de reforçar medidas de prevenção, manutenção periódica e treinamento das equipes que atuam nesses espaços. O modelo comprovou sua eficácia para fins didáticos, permitindo observar as condições que favorecem explosões em silos: acúmulo de poeira, oxigênio e fonte de ignição (COUTO, 2004; MARQUES et al., 2021).

Figura 3 – Protótipo do silo de explosão



Fonte: Autor, 2024.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os protótipos desenvolvidos representam avanços significativos tanto na pesquisa aplicada quanto na formação acadêmica, oferecendo soluções práticas, acessíveis e seguras que podem ser ampliadas e aprimoradas em estudos futuros, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e educacional no setor agrícola.

5. REFERÊNCIAS

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2023/24. Brasília: CONAB, 2024.
- COUTO, S. M. Explosões em silos de grãos: causas e prevenção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 332-338, 2004.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agricultura Digital: contribuições da Embrapa para a inovação no campo. Brasília: Embrapa, 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores agropecuários 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- MARQUES, F. A.; LOPES, L. B.; PEREIRA, J. A. Riscos de explosões em unidades armazenadoras: revisão de literatura e medidas preventivas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 29, n. 3, p. 257-266, 2021.
- BOTELHO, F. M., GRANELLA, S. J., CAMPOS BOTELHO, S. C., BECHLIN GARCIA, T. R. Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **RevEng** v. 23, n. 3, p. 212-219, 2015.