

MONTAGEM E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE AERAÇÃO COM AR ARTIFICIALMENTE RESFRIADO

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.028-001>

Felipe de Oliveira Dourado

MSc. em Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Goiás
Anápolis, Goiás, Brasil

E-mail: felipedouradoeng@outlook.com

Ivano Alessandro Devilla

Pós-doutorado em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Viçosa
Anápolis, Goiás, Brasil
E-mail: devilla@ueg.br

Antônio Cruvinel Borges Neto

MSc em Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Goiás
Anápolis, Goiás, Brasil
E-mail: antonio.cruvinel@ueg.br

RESUMO

O sistema de aeração é utilizado na preservação da qualidade dos grãos armazenados, tendo como objetivo principal resfriar a massa de grãos. Apesar de ser o sistema mais difundido para preservação de grãos armazenados, a aeração tem limitações como a dependência das condições climáticas locais. Por isso o sistema de resfriamento pode ser uma tecnologia alternativa para substituir a aeração convencional. Neste trabalho objetivou-se projetar, construir e avaliar um sistema de aeração de grãos artificialmente resfriado. Foi construído um silo protótipo com dimensões de 0,9 m de diâmetro e 3 m de altura, de fundo perfurado e adaptado um sistema de aeração artificialmente resfriado, no qual foi utilizado o tubo de vórtice acoplado na lateral do plênum, para insuflar o ar frio. No registro dos dados de temperatura e umidade intersticial dos grãos; e a temperatura e umidade do ambiente, foram utilizados sensores SHT75 que ficaram dispostos no centro do silo protótipo. O tubo de vórtice era acionado 15 minutos antes de ligar o ventilador, para que a temperatura do ar insuflado pelo ventilador no silo estivesse menor que a temperatura do ar ambiente. O sistema artificialmente resfriado, foi acionado diariamente às 19 horas e desligado às 8 horas. No período de avaliação a temperatura do ar não apresentou grandes variações, oscilando de 20,97 até 26,56°C, em contrapartida a umidade relativa do ar sofreu grandes oscilações de 81,13 até 34,78%. O tempo de avaliação foi de 26 dias e a temperatura média registrada no final do experimento foi de 24,02°C. O sistema de aeração artificialmente resfriado funcionou de forma correta, diminuindo a temperatura do ar de aeração, porém apenas com um compressor apresentou baixa eficiência.

Palavras-chave: Tubo de vortex. Arduino. Armazenamento de grãos. Temperatura. *Zea mays*.

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos no Brasil, especialmente em grãos como milho, trigo, soja e a cevada teve elevadas taxas de crescimento, advindas da modernização e das tecnologias agrícolas (BARONI et al., 2017).

Os grãos produzidos, depois de passarem pelos processos de limpeza e secagem, são estocados para que sejam utilizados posteriormente. O armazenamento é um processo que se baseia em reunir e guardar um determinado volume de produto durante um período prolongado, a fim de preservar a qualidade e as características primárias dos grãos, evitando fungos, pragas e umidades excessivas (MOHAPATRA et al., 2017; NEME e MOHAMMED, 2017; MUTUNGI et al., 2019)

A temperatura e umidade relativa são os principais fatores que podem interferir na qualidade dos grãos durante o período de armazenamento (BORÉM et al., 2019). A redução da temperatura dos grãos diminui a velocidade das reações bioquímicas e metabólicas (PARAGINSKI et al., 2014). Segundo Ziegler et al. (2016) para grãos armazenados na temperatura de 15 °C há um efeito de expurgo controlando a infestação de insetos.

A aeração é o método de controle preventivo mais difundido e utilizado na preservação dos grãos armazenados. Esse método consiste na passagem forçada do ar ambiente pela massa de grãos, de tal forma a modificar o microclima intergranular, criando condições desfavoráveis ao desenvolvimento de organismos que influenciam na preservação da qualidade dos grãos (LOPES E STEIDLE, 2019). Outra técnica utilizada para manter a qualidade dos grãos armazenamentos é o resfriamento artificial, consiste em reduzir a temperatura no interior dos armazéns e/ou silos verticais. O resfriamento permite trocas de ar entre o ambiente e o interior da massa de grãos, sendo insuflado o ar frio para o interior do silo, permanecendo este em funcionamento até a temperatura desejada da massa de grãos.

A redução da temperatura a níveis de refrigeração pode ser uma tecnologia promissora na manutenção da qualidade dos grãos, retardando o desenvolvimento de insetos, pragas e da microflora presente, independente das condições climáticas da região (Demito e Afonso, 2009). Rigueira et al. (2009) salientaram que armazenar a produção em sistemas onde é reduzida a temperatura é uma técnica eficaz e econômica por longos períodos.

Nesse contexto, objetivou-se construir um sistema de resfriamento artificial de grãos armazenados em silos metálicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais, situado no Campus Central de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santilo, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis-GO.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS QUE COMPÕEM O SISTEMA DE RESFRIAMENTO ARTIFICIAL

2.2.1 Silo Protótipo

Foi utilizado um silo metálico cilíndrico, com as dimensões de 0,9 m de diâmetro e 3 m de altura, com capacidade de armazenar 1500 kg de grãos de milho, com peso específico de 750 kg m^{-3} . Foi construído um plênium de alvenaria, para possibilitar a entrada de ar no silo, com dimensões de 1,2 m de diâmetro e 0,3 m de altura, conforme ilustra a Figura 1.

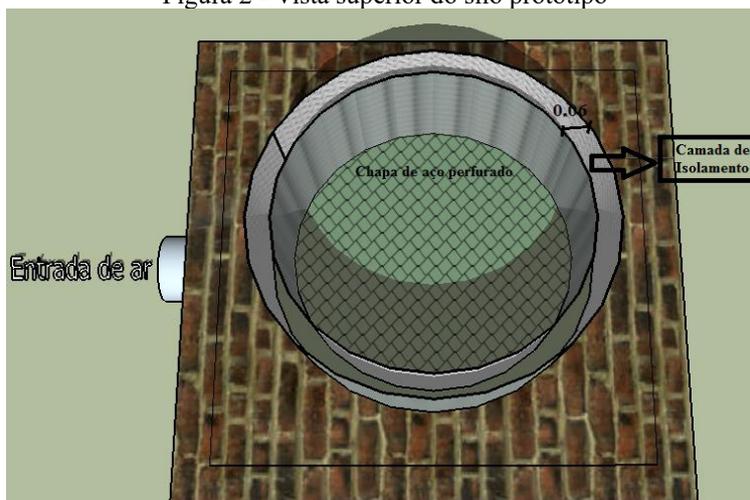
Na superfície externa do silo, foi inserido o isolamento térmico, constituído de uma camada de lã de vidro, de 0,06 m de espessura (Figura 2), visando minimizar o aquecimento dos grãos provenientes das condições do ambiente externo ao silo. Na parte inferior do silo, foi instalado chapas de aço perfurado com crivos de diâmetro de 0,006 m, para possibilitar a passagem de ar pela massa de grãos, Figura 2.

Figura 1 - Silo protótipo utilizado para avaliar o sistema de resfriamento artificial



Fonte: AUTOR

Figura 2 - Vista superior do silo protótipo



Fonte: ANTUNES (2016)

2.2.2 Ventilador

O ventilador centrífugo de pás radiais, construído em chapa metálica, foi utilizado, Figura 3. A vazão de ar fornecida pelo ventilador foi de $6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ e a pressão estática foi de 35 mmCA m^{-1} . O motor trifásico de 1 Cv de alta rotação foi utilizado para impulsionar as pás radiais.

Figura 3 - Ventilador centrífugo com pás radiais utilizado para insuflar ar no silo



Fonte: AUTOR

2.2.3 Inversor de Frequência

O inversor de frequência da marca PowerFlex⁴, Figura 4, foi utilizado para regular a rotação do rotor do ventilador, visando atingir a vazão de ar de aeração de $0,15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, assim a frequência utilizada no inversor foi de 7,2 hertz.

Figura 4 - Inversor de frequência utilizado para regular a rotação do rotor do ventilador



Fonte: AUTOR

2.2.4 Tubo de vórtice

O tubo de vórtice de pequeno porte da marca EXAIR, modelo 3230, foi utilizado para fornecer o resfriamento artificial. As temperaturas do ar geradas pelo tubo de vórtice foram de -1 até 56 °C, e com vazão máxima de $0,6 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$. Essas variações de temperaturas dependem do tamanho do tubo e da potência do compressor utilizado. O tubo de vórtice foi acoplado na lateral do plênum do silo conforme Figura 5, onde o ar frio foi insuflado.

Figura 5 - Tubo de vórtice acoplado ao plênum onde o ar frio foi insuflado



Fonte: AUTOR.

2.2.5 Compressor

Foi utilizado um compressor da marca Pressure, Figura 6, com as seguintes características: pressão de operação: Máxima 175 lbf pol^{-2} (12,07 bar); volume do reservatório: 250 L; vazão de: 20 pcm ($0,6 \text{ m}^3\text{min}^{-1}$); e potência do motor: 5 cv trifásico.

Figura 6 - Compressor utilizado para fornecer o ar comprimido ao tubo de vórtice



Fonte: AUTOR.

2.3 PROCEDIMENTO PRELIMINAR PARA AERAÇÃO ARTIFICIALMENTE RESFRIADA

No sistema de aeração artificialmente resfriado, o tubo de vórtice era acionado 15 minutos antes de ligar o ventilador, para que a temperatura do ar insuflado pelo ventilador no silo estivesse menor que a temperatura do ar ambiente. Após o período de resfriamento do plênum, o ventilador do sistema aeração artificialmente resfriado era acionado. O sistema foi ligado diariamente às 19 horas, e desligado às 8 horas

2.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO

Um dispositivo de aquecimento do ar foi desenvolvido para aquecer os grãos armazenados até a temperatura de 30 °C. O aquecimento dos grãos se faz necessário para simular a condição real da temperatura de saída dos grãos de um secador comercial (LAWRENCE e MAIER, 2011).

O dispositivo para o aquecimento da massa de grãos, foi construído com material metálico, com dimensões de 0,5 x 0,16 x 0,15 m. Dentro do dispositivo foram colocados dois resistores (tipo U), com dimensões 0,45 x 0,06 m e potências de 2 e 1 Kw.

O sistema de aquecimento foi acoplado ao ventilador e ao plênum do silo, Figura 7. Os testes com a aeração artificialmente resfriada iniciaram quando toda a massa de grãos havia alcançado 30 °C. Para o monitoramento do processo de aquecimento, foi instalado um sensor de temperatura dentro do plênum.

Figura 7 - Sistema de aquecimento acoplado ao ventilador e plênium



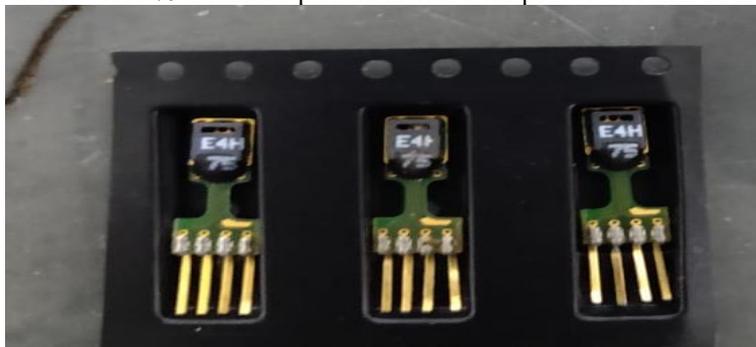
Fonte: AUTOR

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO CONTROLE DO SISTEMA DE AERAÇÃO

2.5.1 Sensores

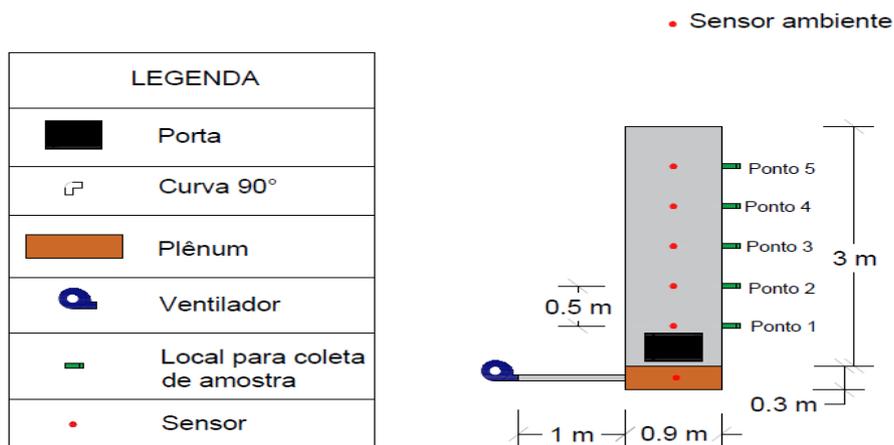
O sensor selecionado para monitorar a temperatura e a umidade do ar intersticial foi o modelo SHT 75, Figura 8, da família Sensirion. A faixa de leitura da temperatura é de - 40 a 123,8 °C com uma acurácia de 0,4 °C. Já a umidade relativa pode variar de 0 a 100% com uma acurácia de 1,8%. Foram utilizados 7 sensores no total, que foram distribuídos: 5 sensores no silo, espaçados em 0,5m na massa de grãos; 1 sensor no plênium; e 1 para os parâmetros ambientais, posicionado em local externo à massa de grãos, Figura 9.

Figura 8 - Sensores SHT 75 utilizados para monitorar a temperatura e umidade relativa do silo



Fonte: AUTOR

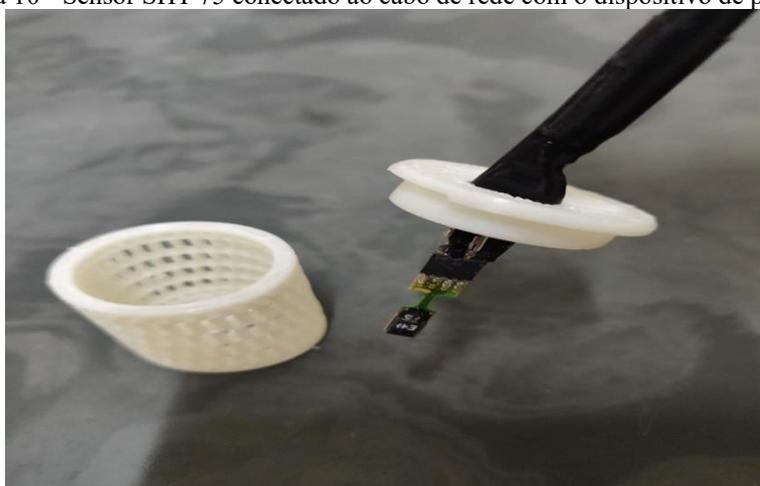
Figura 9 - Esquema do silo protótipo com os sensores dispostos no centro



Fonte: AUTOR

Todos os sensores foram conectados a um cabo de rede Cat5, oito vias e blindado para impedir interferências eletromagnéticas. Para que os sensores não ficassem em contato direto com o milho, foi plotado em uma impressora 3D um dispositivo de proteção, Figura 10. O dispositivo possuía as seguintes dimensões: 0,035 m de altura e 0,03 m de diâmetro, com crivos retangulares de 0,001 m de altura e 0,0005 m de largura, e com uma tampa de 0,03 m de diâmetro.

Figura 10 - Sensor SHT 75 conectado ao cabo de rede com o dispositivo de proteção



Fonte: AUTOR

2.5.2 Microcontrolador Arduino

O microcontrolador Arduino foi utilizado, pois sua programação é simples, é de fácil aquisição e atendeu os requisitos de hardware para a execução do projeto. O microcontrolador é responsável por fazer a intermediação no sistema, onde ele recebe a informação dos parâmetros de temperatura e umidade relativa e envia para microcomputador que apresenta as informações ao usuário

O modelo de Arduino escolhido foi o UNO, Figura 11 que possui um canal de comunicação serial, 13 portas de entrada e saída digitais, 6 portas analógicas e um processador ATMEGA 328P. Foi utilizada 1 placa de Arduino para o silo e uma para os parâmetros ambientais.

Figura 11 - Arduino Uno utilizado na aquisição de dados



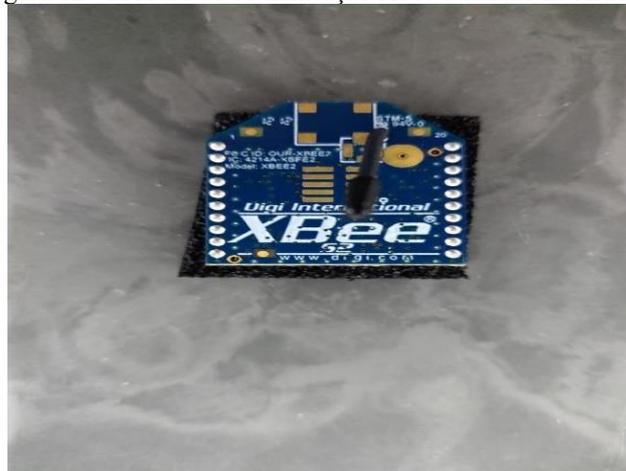
Fonte: AUTOR

2.5.3 Módulos Xbee

Os módulos Xbee foram utilizados para a comunicação wireless com a placa Arduino instalada no silo. O modelo do módulo Xbee escolhido foi S2,

Figura 12, com uma frequência de comunicação de 2,4GHZ. Foram utilizados dois módulos, um ligado ao Arduino e outro no microcomputador utilizado para armazenar os dados.

Figura 12 - Módulo de comunicação Xbee utilizado no Arduino



Fonte: AUTOR

2.6 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

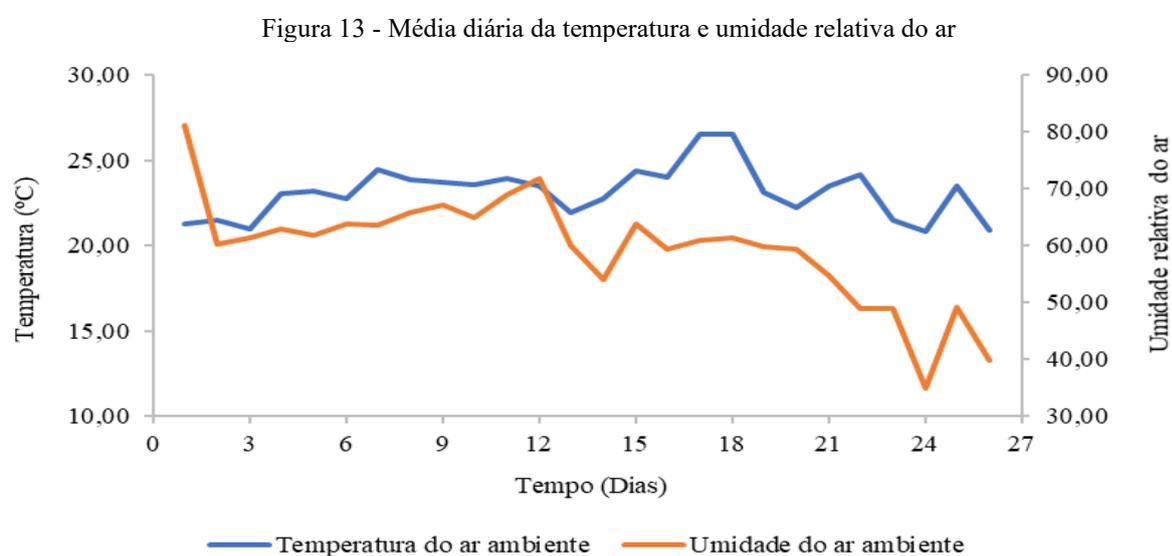
No sistema de aquisição de dados o algoritmo foi elaborado utilizando as bibliotecas padrões, disponibilizadas pelo software Arduino (MCROBERTS, 2011). Para apresentar em tempo real os valores de temperatura, umidade relativa, foi desenvolvido outro sistema com base na linguagem de programação PHP, onde os dados foram coletados e armazenados a cada dez minutos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E AR AMBIENTE DURANTE AS AVALIAÇÕES

As condições de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de avaliação (14 de janeiro a 9 de fevereiro de 2021) do sistema de aeração artificialmente resfriada retratam a transição do período chuvoso para o período de seca, característico da cidade de Anápolis-GO.

Notou-se que durante o período de avaliação do sistema a temperatura do ar não sofreu grandes variações, Figura 13, oscilando de 20,97 até 26,56 °C. Em contrapartida os dados coletados da umidade relativa do ar durante os 26 dias de avaliação variaram de 81,13 até 34,78 %, acompanhando o período característico da região. Segundo Lopes et al. (2015) essas oscilações na umidade relativa do ar mostram que os grãos armazenados necessitam de um controle eficiente no processo de aeração.

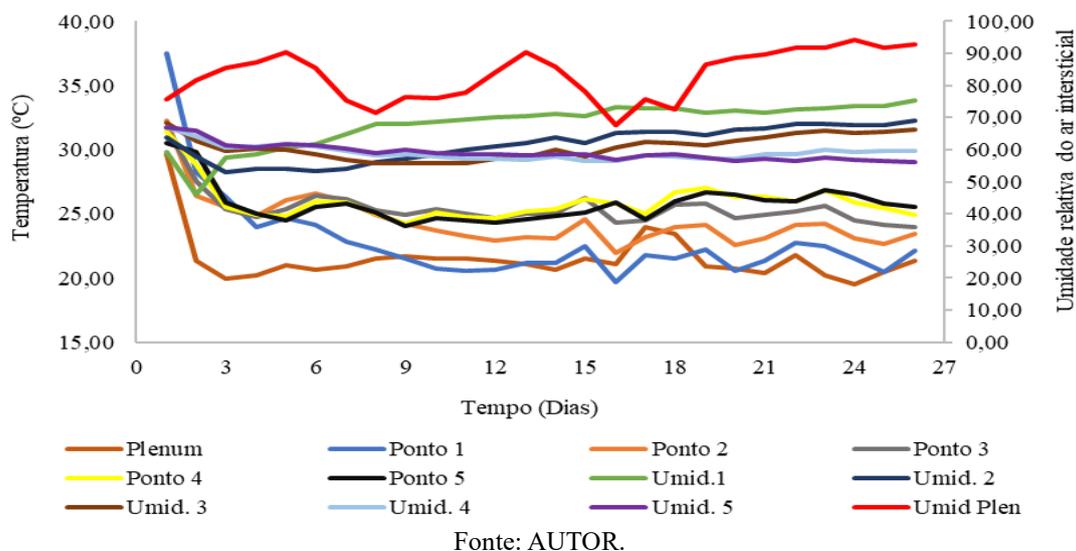


Fonte: AUTOR

3.2 FRENTE DE RESFRIAMENTO

A variação da temperatura dos grãos armazenados durante o período de avaliação do sistema de aeração artificialmente resfriado, nos 5 pontos do silo, está representada na Figura 14.

Figura 14 - Variação da temperatura e umidade do ar intersticial da massa de grãos nos pontos (1, 2, 3, 4, 5 e Plenum)



A média de temperatura da massa de grãos ficou acima do esperado, e foi devido a ação de insetos. Segundo Antunes et al. (2011) os insetos proporcionam um aquecimento na massa grãos, por meio do aumento da atividade metabólica e taxa de respiração dos grãos armazenados.

Quando ocorre a redução da temperatura na massa de grãos, pode-se dizer que a aeração foi satisfatória; e quando a temperatura de todo o silo é reduzida, pode-se inferir que a frente de resfriamento alcançou o topo silo. De acordo com Figura 14, é possível notar a frente de resfriamento, a redução da temperatura na massa de grãos ocorreu na direção vertical, no sentido ascendente no silo. O resfriamento na massa de grãos foi mais intenso nos pontos 1 e 2. A partir do ponto 3 o processo de redução da temperatura foi mais lento. Notou-se que durante o processo de avaliação do sistema de aeração artificialmente resfriado, as temperaturas mais baixas registradas foram nos pontos 1 e 2, de 19,66 e 21,92 °C respectivamente.

Verificou-se que nos pontos 3, 4 e 5 as temperaturas mais baixas foram registradas no último dia de avaliação, 23,98; 24,94 e 25,54 °C, respectivamente. Segundo Quirino et al. (2013), as camadas superiores dos silos sofrem mais influência do ambiente no armazenamento que as camadas inferiores, levando assim mais tempo para o seu resfriamento.

Em relação a temperatura do plênium, notou-se que ao acionar o tubo de vórtice a diferença de temperatura entre o plênium e a temperatura do ar ambiente foi de 4 °C, e ao ligar o ventilador, essa diferença reduzia para 2 °C. Esse incremento na temperatura foi gerado por conta da temperatura mais elevada do ar ambiente, que foi insuflado no plênium.

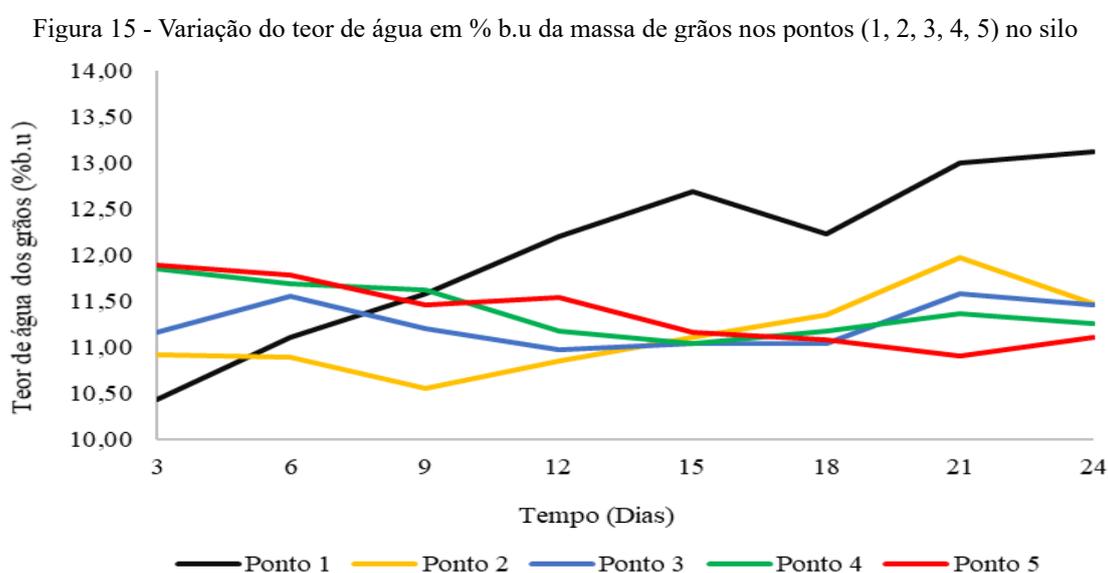
Para que o tubo de vórtice funcione de forma eficiente, a pressão de entrada do ar deve ser de 7 bar constantemente. Whang et al (2009) utilizaram a pressão de entrada de 7 bar e obtiveram o melhor efeito de refrigeração. Nos testes para iniciar as avaliações dos sistemas utilizou-se dois compressores, ligados em paralelo, que mantinham a pressão de entrada em 7 bar. Mas no primeiro dia de experimento

um dos compressores estragou. Assim, durante os demais dias do experimento o sistema de aeração artificialmente resfriado funcionou somente com um compressor, que manteve a pressão de entrada de 4 bar, diminuindo a eficiência do sistema.

Na umidade relativa do ar intersticial, nota-se que no ponto 1, ocorreu uma redução de 59,28% para 45,95% do primeiro para o segundo dia de avaliação. A redução na umidade relativa do ar intersticial foi promovida pelo aquecimento na massa de grãos antes de iniciar a avaliação do sistema. Observa-se que a temperatura no primeiro dia de avaliação no ponto 1 do silo é maior em relação aos demais pontos, ocasionando uma secagem do ar.

3.3 TEOR DE ÁGUA DOS GRÃOS

A evolução do teor de água em % b.u na massa de grãos, é apresentado na Figura 15 para os cinco pontos monitorados. A variação do teor de água na massa de grãos ocorreu ao longo do período de avaliação devido à higroscopicidade dos grãos. A variação ocorreu até que os grãos atinjam o teor de água de equilíbrio com o ambiente. Observou-se que essa variação ocorreu tanto pela interferência de fatores externos, como a umidade relativa do ar e temperatura do ar de aeração e pela umidade do ar intersticial do plênum.



O teor de água médio inicial da massa de grãos foi de $11,25 \pm 0,63$ % b.u. Verifica-se que em todos os pontos, o teor de água dos grãos permaneceu abaixo de 12% b.u, garantindo um bom armazenamento. Segundo Coradi e Lemes (2019), as qualidades físico-químicas e microbiológicas estão diretamente ligadas com o teor de água dos grãos por isso quanto menor, melhor será a qualidade dos grãos armazenados. Ainda, Bessa et al. (2015) concluíram que os grãos armazenados durante seis e oito meses devem ser mantidos com um teor de água de 10 a 12 % b.u.

Notou-se que na camada de grãos do ponto 1, ocorreu maior secagem em relação aos demais, o que pode ser explicado por conta do aquecimento feito antes de iniciar a avaliação dos sistemas de aeração.

Verificou-se, também, que os grãos no ponto 1 sofreram um aumento no teor de água que ultrapassaram o limite recomendado para um armazenamento seguro, que segundo Chigoverah e Mvumi (2016) é de até 12,5% b.u para grãos de milho em armazenamento não hermético. O teor de água final dos grãos no ponto 1 foi de $13,12 \pm 0,02$ % b.u. Verifica-se que essa variação no teor de água dos grãos no ponto 1 ocorreu devido a migração da umidade do ar intersticial do plênum para a massa de grãos e pela infestação de insetos que estavam em maior concentração nesse ponto. Autores como Antunes et al. (2011) e Pinto et al. (2002) observaram que a infestação de insetos resulta num aumento no teor de água nos grãos armazenados em 3,6 pontos percentuais em 90 dias de armazenamento; esse aumento se deve ao metabolismo dos insetos e a respiração dos grãos.

No ponto 2, notou-se que do sexto dia até o nono dia de experimento o teor de água dos grãos diminuiu. Já no decimo segundo dia os grãos atingiram equilíbrio higroscópico. Porém no último dia de avaliação a umidade dos grãos elevou-se para $11,47 \pm 0,14$ % b.u.

Nos pontos 3 e 4, observou-se que o teor de água dos grãos entrou em equilíbrio no decimo segundo dia e sofreu um aumento no vigésimo primeiro dia. Já no último de avaliação o teor de água foi de $11,45 \pm 0,11$ para o ponto 3 e $11,26 \pm 0,26$ % b.u para o ponto 4. Porém para o ponto 5 os grãos apresentavam teor de água próximo à 12% b.u e finalizaram o experimento com 11,72 % b.u.

Verificou-se que a massa grãos nos pontos 2, 3, 4 e 5 permaneceram com teor de água abaixo de 12,5 % b.u, que é a umidade segura para o armazenamento dos grãos de milho.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos e nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, pode-se concluir que:

1. A temperatura média no final da avaliação do silo foi de 24,02 °C.
2. O sistema de aeração artificialmente resfriado utilizando o tubo de vórtex, como ferramenta para o resfriamento do ar funcionou corretamente, diminuindo a temperatura do ar de aeração, porém apenas com um compressor mostrou-se com baixa eficiência.
3. O sistema computacional para a aquisição de dados de temperatura e umidade relativa no armazenamento de grãos, utilizando o Arduino, coletou os dados de forma eficiente.
4. Como trabalhos futuros, propõe-se a utilização de dois compressores que conseguiram manter uma pressão de entrada do ar de 7 bar constantemente, para que o sistema proposto tenha eficiência. Investigar a utilização de um compressor de parafuso na eficiência do



sistema de resfriamento. Outro ponto a ser aprimorado, seria uma automação no acionamento do sistema de aeração.



REFERÊNCIAS

- ANTUNES, L. E. G; VIEBRANTZ, P. C; GOTTARDI, R; DIONELLO, RAFAEL. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 6, p 615-620. 2011.
- BARONI, G. D., BENEDETI, P. H., & SEIDEL, D. J. Cenários prospectivos da produção e armazenagem de grãos no Brasil. *Revista Thema*, 14(4), 55-64. 2017.
- BESSA, J. F.V; DONADON, J. R; RESENDE, O; ALVES, R. M. V; SALES, J. D. E. F; COSTA, L. M. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte I - Qualidade fisiológica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n. 3, p.224-230, 2015.
- BORÉM, F. M.; RIBEIRO, F.C., FIGUEIREDO, L.P.; GIOMO, G. S.; SIQUEIRA, C.; DIAS, C. A. Sensory analysis and fatty acid profile of specialty coffees stored in different packages. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 9, p. 4101–4109, 2019.
- BURKOT, R. C. A qualidade desejada na secagem e armazenagem de grãos em uma cooperativa no município de Ponta Grossa – PR. *Revista de Gestão e Organizações Cooperativas*, Santa Maria [s.l.], v. 01, p. 39–50, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes, Brasília, DF, 399 p. 2009.
- CHIGOVERAH, A. A.; MVUMI, B. M. Efficacy of metal silos and hermetic bags Against stored-maize insect pests under simulated smallholder farmer condtions. *Journal of Stored Products Research*, v. 69, p. 179-189, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Capacidades estáticas de armazéns cadastrados por U.F. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 20 dezembro 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos, Safra 2023/24 – 7º levantamento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em 10 maio 2024.
- CORADI, P. C; LEMES, A. F. C. Silo-secador-aerador experimental para armazenagem de grãos de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 22, n. 4, p. 279-285, 2018.
- DEMITO, A.; AFONSO, A.D.L. Qualidade das sementes de soja resfriadas artificialmente. *Engenharia na Agricultura*, Campina Grande, v.17, n 4, p.7-14, 2009.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P.D. Past: Paleontological statistics software Packaged for education and data analysis. Version 1.94b. *Palaentologia Electronica*, v.4, n. 1, p.1 – 9, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa de Estoques – 1º semestre de 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_media/ibge/arquivos/a689f28e65e55fe7c7ef82a33394c097.pdf>. Acesso em 16 janeiro 2024.
- LAWRENCE, J.; MAIER, D. E. Aeration strategy simulations for wheat storage in the sub-tropical region of north India. *Transaction of the ASABE*, v. 54, p. 1395-1405, 2011.



LOPES, D. C.; NETO, A. J. S.; JÚNIOR, R. V. Comparison of equilibrium models for grain aeration. *Journal of Stored Products Research*, v. 60, p. 11-18, 2015.

LOPES, D. C STEIDLE, N, A. J. Effects of climate change on the aeration of stored beans in Minas Gerais State, Brazil. *Biosystems Engineering, Sete Lagoas*, v.188, p.155-164, 2019.

LUIZ, M. R. Estudo teórico e experimental de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*).160 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

CROBERTS, M. Arduino Básico. Novatec. São Paulo, p. 456, 2011.

MOHAPATRA, D.; KUMAR, S.; KOTWALIWALE, N.; SINGH, K. K. Critical factors responsible for fungi growth in stored food grains and non-Chemical approaches for their control. *Industrial Crops and Products*. Bhopal, v. 108, p. 162-182, 2017.

MUTUNGI, C.; MUTHONI, F.; BEKUNDA, M.; GASPAR, A.; KABULA, E.; ABASS. A. Physical quality of maize grain harvested and stored by smallholder farmers in the Northern highlands of Tanzania: effects of harvesting and pre-storage handling practices in two marginally contrasting agro-locations. *Journal Stored Products Research*. Tanzania, v. 84, p. 101517, 2019.

NEME, K; MOHAMMED, A. Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as a mitigation strategies. A review. *Food Control*. Shambu, v. 78, p. 412-425, 2017.

OLIVEIRA, V. R.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; FILHO, A. C.; JOST, E. Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. *Ciência Rural*, Santa Maria v.41, n.5, p.746-752, 2011.

PARAGINSKI, R.T; VANIER, N.L; BERRIOS, J.J; OLIVEIRA, M; ELIAS, M. C. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. *Journal of Stored Products Research*, Albany, v.49, p.209-214, 2014.

PATWARI, A.U; HABIB, M.A; CHOWDHURY, S.I; AKRAM, R.H. Thermal investigation of vortex generated green coolant on surface texture for drilling process. *Procedia Engineering*, Bangladesh v. 105, p. 808-813, 2015.

PARK, C. E; KIM, Y. S; PARK, K.J; KIM, B.K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of Stored Products Research*, Republic of Korea v.48, p.25-29, 2012.

PINTO, U. M.; FARONI, L. R. D. A.; ALVES, W. M.; SILVA, A. A. L. Influência da densidade populacional de *Sitophilus zeamais* (Motsch.) sobre a qualidade do trigo destinado à panificação. *Acta Scientiarum*, v.24, p.1407-1412, 2002.

QUIRINO, J. R.; MELO, A. P. CAMPOS.; VELOSO, V. R. S.; ALBERNAZ, K. C.; PEREIRA, J. M. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. *Bragantia*. Campinas, v. 72, n. 4, p.378-386, 2013.

RIGUEIRA, R.J.A.; LACERDA FILHO, A.F.; VOLK, M.B.S. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, v.20, n.4, p.649-655, 2009.

SECCHIAROLI, A.; RICCI, R.; MONTELPARE, S; D’ALESSANDRO, V. Numerical simulation of turbulent flow in a Ranque–Hilsch vortex tube. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Ancona, v.52, n.24 p5496–5511, 2009.



SILVA, K. P. Efeitos de resfriamento artificial e tempo de armazenamento sobre a qualidade tecnológica e fisiológica de grãos de trigo. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

ZIEGLER, V.; MARINI, L. J.; FERREIRA, F. D.; BERTINETTI, I. A.; SILVA, W.S.V.; GOEBEL, J.T.S.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C. Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality evaluation parameters of soybean grain and oil. *Semina: Ciências Agrárias*, v 37, n 1, p. 131-144, 2016.

WHANG, Z.; TONG, M.; YUAG, R. Experimental Study on Channel Characteristic and Refrigerating Effect in Vortex Tubes. *Journal of Chongqing University*, v. 32, n. 8, p. 971-975, 2009.