

RELATÓRIO FINAL

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE EXAUSTÃO NATURAL CYCLOAR EM SILOS METÁLICOS ARMAZENADOS COM MILHO

Oswaldo Resende - Engenheiro Agrícola,
Doutorado em Armazenamento de grãos (UFV),
Professor IF Goiano – Câmpus Rio Verde.

Kelly Aparecida de Sousa - Tecnóloga em
Produção de grãos, Mestre em Ciências Agrárias,
Doutoranda IF Goiano – Câmpus Rio Verde.

Renan Ullmann - Agrônomo, Mestrando em Ciências
Agrárias IF Goiano – Câmpus Rio Verde.

Tarcísio Honório Chaves - Graduando em Agronomia
IF Goiano – Câmpus Rio Verde.

AValiação DO SISTEMA DE EXAUSTÃO NATURAL *CYCLOAR* EM SILOS METÁLICOS ARMAZENADOS COM MILHO

Oswaldo Resende¹, Kelly Aparecida de Sousa², Renan Ullmann³, Tarcísio Honório Chaves⁴

RESUMO: Objetivou-se no presente trabalho avaliar o efeito do sistema de exaustão natural *Cycloar* em silos metálicos armazenados com milho no município de Rio Verde-GO. O experimento foi realizado em dois silos com sistema de termometria iguais, com e sem o sistema de exaustão de ar *Cycloar* onde os grãos de milho ficaram armazenados por um período de 60 dias. O sistema de termometria, presente nos silos, 61 sensores em cada silo, foi utilizado para registrar as temperaturas da massa de grãos diariamente. O manejo do sistema de aeração nos silos com e sem os exaustores foi realizado baseando-se na temperatura média da massa de grãos superior a 30 °C. Os parâmetros ambientais foram registrados por meio de um sensor termo-higrômetro digital integrado com precisão de 3%. Para a caracterização da qualidade do produto durante o armazenamento, foram retiradas amostras a cada 15 dias e mensuradas o teor de água, massa específica aparente e grau de infestação de insetos. O silo com o sistema de exaustão *Cycloar* proporcionou uma redução de 59,56% no acionamento do sistema de aeração, acarretando em economia de energia, bem como em uma redução de 2 °C na temperatura média da massa de grãos. Os silos mantiveram ao longo do armazenamento a qualidade dos grãos de milho.

INTRODUÇÃO

Devido a mudanças climáticas, variações de temperatura também contribuem para a formação de gradientes de temperatura em uma massa de grãos armazenada. Temperaturas diferentes nos ambientes interno e externo de um silo provocam correntes de ar na massa de grãos, que podem induzir a migração de umidade das áreas de altas temperaturas para as de baixas temperaturas. A migração de umidade pode potencializar o desenvolvimento de insetos, fungos e bactérias e iniciar a deterioração do produto (BROOKER et al., 1992; GONG et al., 1995).

A técnica mais empregada para diminuir gradientes de temperatura na massa de grãos e, conseqüentemente, minimizar a migração de umidade, é a aeração (SAUER, 1992; JAYAS et al.,

¹ Engenheiro Agrícola, Doutorado em Armazenamento de grãos (UFV), Professor IF Goiano – Câmpus Rio Verde, osvresende@yahoo.com.br

² Kelly Aparecida de Sousa - Tecnóloga em Produção de grãos, Mestre em Ciências Agrárias, Doutoranda IF Goiano – Câmpus Rio Verde;

³ Renan Ullmann, Agrônomo, Mestrando em Ciências Agrárias IF Goiano – Câmpus Rio Verde;

⁴ Tarcísio Honório Chaves, Graduando em Agronomia IF Goiano – Câmpus Rio Verde.

1995). Este processo, além de inibir o desenvolvimento de insetos e da microflora, preserva a qualidade do produto e pode até remover odores (NAVARRO e CALDERON, 1982; HAGSTRUM et al., 1999; SILVA et al., 2000).

De acordo com Casada et al. (2002), o desenvolvimento de estratégias de controle confiáveis e a utilização de equipamentos mais apropriados no monitoramento dos grãos armazenados tornam a implantação de sistemas de aeração mais acessível aos produtores e mais eficaz, principalmente em regiões tropicais e subtropicais.

A variação de temperatura do ar existente nos silos, entre a massa de grãos e o telhado geralmente metálico, elevada durante o dia e fria à noite, pode levar o vapor d'água existente em suspensão no ar, a se condensar à noite e gotejar sobre os grãos. Esse fenômeno pode acontecer com frequência, causando grande prejuízo à qualidade dos grãos e ainda, perdas financeiras para os produtores e armazenadores.

A ação dos vários agentes bióticos e abióticos característicos do ecossistema dos grãos armazenados combinada a utilização da aeração causa gradientes de temperatura, gradientes de umidade e alterações nas concentrações dos gases no interior da massa de grãos. A existência destes gradientes gera um processo de transferência de calor e de massa no ecossistema (ANDRADE, 2001).

O movimento de umidade em massas de grãos armazenados pode ocorrer por difusão, devido a entrada de água por meio das aberturas do silo, trocas entre o vapor d'água do ar ambiente e a superfície da massa de grãos, difusão da umidade devido a gradientes de vapor no ambiente, deslocamento de umidade devido as correntes convectivas e/ou por causa de condensação de água dentro do silo (ANDRADE, 2001).

Com a instalação de sistemas de exaustão na cobertura de silos verticais, em quantidades proporcionais às características do ambiente, renova-se o ar interno entre o telhado e a massa de grãos, o qual está quente e saturado, equilibrando a temperatura interna com a externa e eliminando, desse ambiente, o fenômeno físico da condensação. A aplicação desse sistema também proporciona outros benefícios ao produto armazenado, como a aeração permanente (natural), extraindo além do calor da massa de grãos, elementos como pó, gases e a umidade do ar presentes no ambiente de armazenamento. Também evita a deterioração e a germinação indesejada, inibindo a proliferação de pragas e insetos e aumentando a eficiência de inseticidas e fungicidas. Também impede a compactação da camada superior dos grãos, mantendo a uniformidade da temperatura da massa e facilitando a passagem do ar da aeração forçada. Economiza até 50% da energia elétrica por gerar uma equalização de temperaturas na massa de grãos, reduzindo a aeração e, conseqüentemente, a perda de massa (MALLET, 2010).

Diante o exposto, objetivou-se no presente trabalho avaliar o sistema de exaustão natural *Cycloar* em silos metálicos armazenados com milho no município de Rio Verde - GO.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no município de Rio Verde – GO por pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano - Câmpus Rio Verde) durante a safra de 2012.

Foram utilizados os silos da Unidade Armazenadora da Soagro, município de Rio Verde- GO, que possuem a capacidade estática de 7.000 toneladas de grãos de milho, de 22 m de altura por 22 m de diâmetro, de fundo plano assistido por sistema de aeração composto por ventilador centrífugo de pás curvadas para frente impulsionado por motor trifásico de 50 cv (380 kW), e diafragma para controle da entrada do ar próximo ao ventilador. O fluxo de ar é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, obtido por meio da medição da vazão de ar na saída do ventilador utilizando-se um termoanemômetro de pás rotativas.

O experimento foi realizado em dois silos com sistema de termometria iguais, com e sem o sistema de exaustão de ar *Cycloar* (Figura 1 e 2), onde os grãos de milho ficaram armazenados por um período de 60 dias entre os meses de agosto e setembro de 2012. Os silos foram preenchidos com milho durante os meses de junho e julho, sendo que o monitoramento dos mesmos iniciou-se uma semana após o total preenchimento de cada silo.

O silo com sistema de exaustão possui nove exaustores instalados na sua parte superior. Os exaustores são construídos por dois cilindros justapostos entre si, com diâmetros e alturas diferentes com venezianas invertidas, proporcionando a aeração permanente (natural), extraindo além do calor da massa de grãos, elementos como pó, gases e a umidade do ar presentes no ambiente de armazenamento.

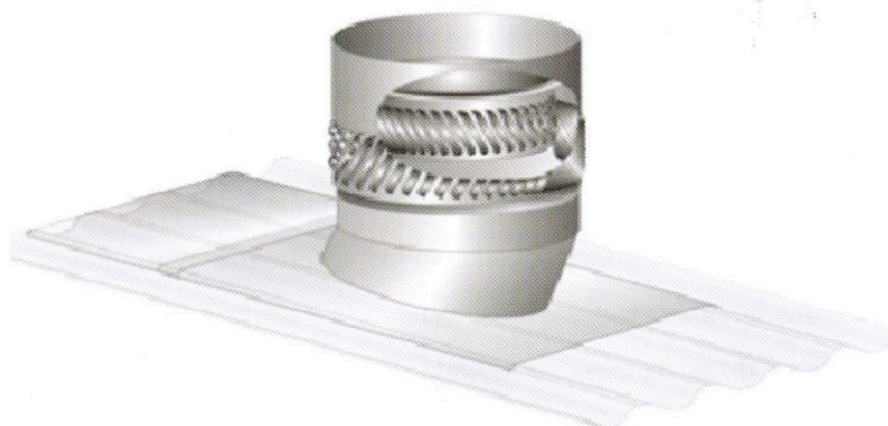


Figura 1. Exaustor de ar natural *Cycloar* de aeração intensificada (CYCLOAR, 2012).



Figura 2. Silos com e sem o sistema de exaustão natural *Cycloar*, da Unidade Armazenadora da Soagro, município de Rio Verde-GO (Arquivo pessoal, 2012).

Na Figura 3, está apresentado o controlador do sistema de aeração que foi utilizado nos silos. Este equipamento tem como objetivo pré-determinar e registrar as temperaturas e a umidade relativa do ar injetado na massa de grãos, objetivando o resfriamento e conseqüentemente a conservação e manutenção da temperatura na massa de grãos armazenada. As temperaturas dos cabos termométricos na massa de grãos também foram armazenadas pelo controlador.

Este sistema foi interligado a um microcomputador em que o processo passa a ser gerenciado e visualizado por meio de telas de programação e sinóticos animados (Figura 4), por onde o operador tem em tempo real a posição de cada aerador, a temperatura e umidade relativa ambiente, a indicação de chuva e defeitos elétricos no painel e na rede elétrica, possibilitando o armazenamento de todos estes dados em períodos pré-determinados.

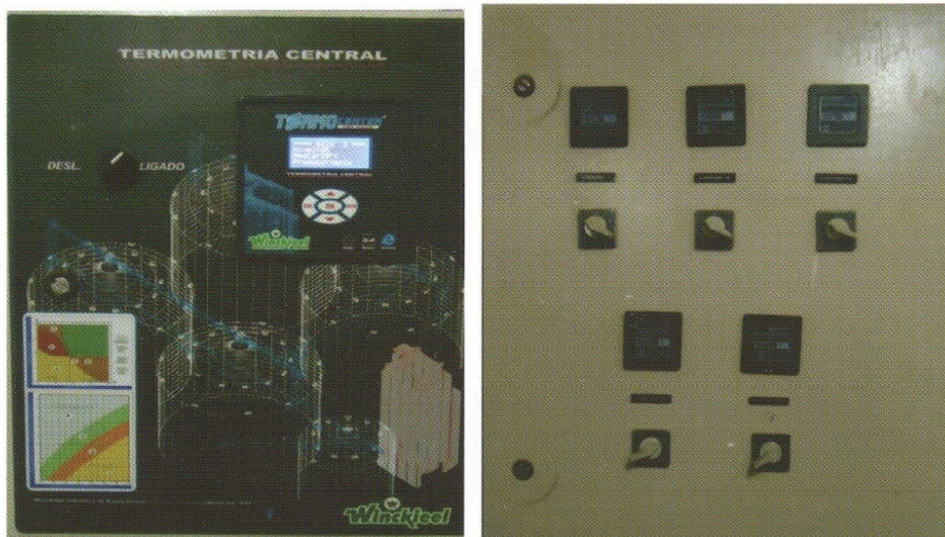


Figura 3. Controlador e Painel de controle do sistema de aeração dos silos.



Figura 4. Telas de programação no computador.

O sistema de termometria, presente nos silos, foi utilizado para registrar as temperaturas da massa de grãos. Este sistema de monitoramento das temperaturas da massa de grãos é informatizado, com informações transmitidas dos silos para um computador portátil por cabo USB. As temperaturas foram monitoradas nos silos por meio de sensores pendulares, sendo 61 sensores em cada silo, dispostos em seis cabos posicionados na massa de grão, com uma distância de três metros horizontalmente entre si. Nos cabos os sensores estão posicionados a cada dois metros verticalmente. Os parâmetros ambientais (temperatura e umidade relativa) foram registrados por meio de um sensor termo-higrômetro digital integrado com precisão de 3%. A aquisição de dados foi realizada a cada dia e os dados armazenados em um computador portátil.

O manejo do sistema de aeração nos silos com e sem os exaustores foi realizado baseando-se na temperatura média da massa de grãos. Quando a temperatura média foi superior a 30 °C os ventiladores do sistema de aeração eram ligados.

Para o cálculo do consumo de energia elétrica do sistema de aeração em quilowatts por hora (kW h^{-1}), tem-se a equação.

$$\text{kWh (c)} = \text{kWh} * \text{HA} \quad (1)$$

em que,

KWh (consumido) = quilowatts de energia elétrica consumido;

kWh = potência em quilowatts;

HÁ = horas acradas.

Na obtenção do custo (R\$) do consumo de energia elétrica (kWh) em quilowatts por hora do sistema de aeração, tem-se a equação.

$$\text{R\$} = \text{kWh} * \text{C} \quad (2)$$

em que,

R\$= valor monetário em reais;

KWh= potência em quilowatts;

C= valor monetário de um quilowatt.

Para a caracterização da qualidade do produto durante o armazenamento, foram retiradas amostras a cada 15 dias na parte superior do silo na profundidade de 1,0 m, em 4 pontos diferentes da superfície.

O produto foi classificado quanto ao: teor de água, massa específica aparente e grau de infestação de insetos.

Para determinar o teor de água foi utilizado o método da estufa a $103 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 horas, com três repetições (ASAE, 2000).

A massa específica aparente, expressa em kg m^{-3} , foi determinada por meio de uma balança de peso hectolitro, com volume de um litro.

O grau de infestação de insetos do produto foi determinado segundo a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Foram utilizadas duas repetições contendo, cada uma, 100 grãos. Para facilitar o corte, os grãos de milho foram imersos em água durante um período de 12 horas. O milho foi considerado infestado, quando apresentou no seu interior qualquer uma das fases do inseto-praga: ovo, larva, pupa e inseto adulto, e também, pela presença do orifício de saída do inseto. O resultado foi expresso em porcentagem de grãos infestados.

O experimento foi montado segundo o esquema em parcela subdividida 2 x 5, tendo nas parcelas as condições de armazenamento, com e sem os exaustores, e nas subparcelas o tempo de armazenamento (0, 15, 30, 45, 60) em delineamento inteiramente casualizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do período de 60 dias os dois silos verticais contendo os grãos de milho foram monitorados quanto ao sistema de termometria, aeração e qualidade do produto.

Na Figura 5A, estão apresentadas as médias das temperaturas registradas nos seis cabos instalados em cada silo e a na Figura 5B, estão apresentados os dados registrados para temperatura e umidade relativa ambiente entre os dias 1 de agosto de 2012 e 30 de setembro de 2012, pelo sensor digital instalado externamente, próximo aos silos nas dependências da Unidade Armazenadora da Soagro em Rio Verde - GO.

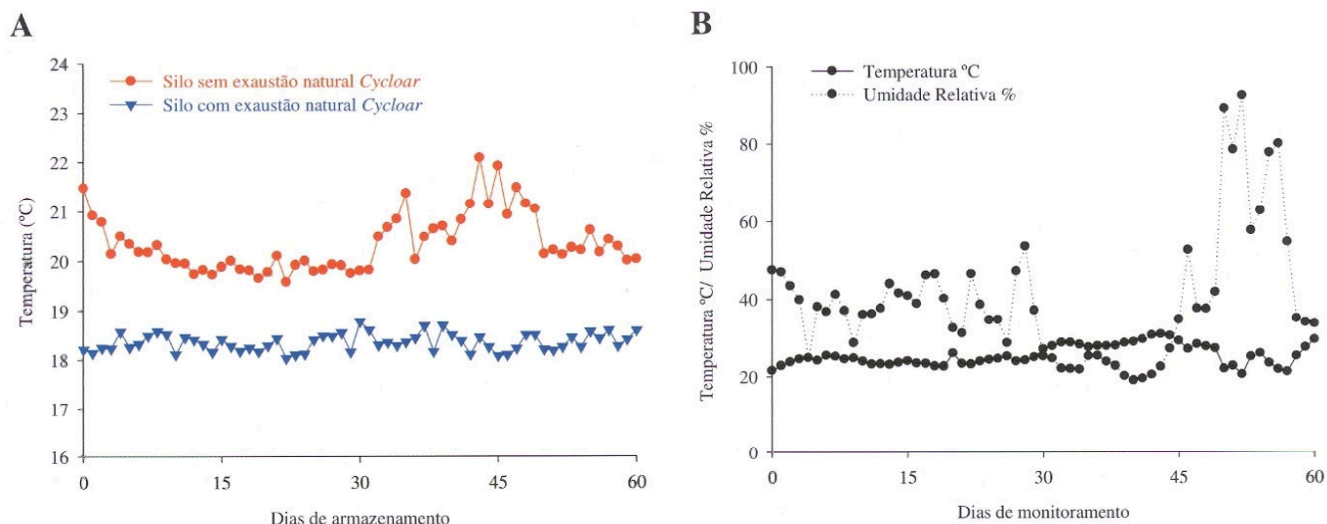


Figura 5. (A) Temperaturas médias dos sensores de termometria; (B) média da temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante 60 dias de armazenamento em silos com e sem exaustor.

Verifica-se que as médias das temperaturas dos sensores ao longo do armazenamento no silo sem exaustores foi de 20,35 °C e no silo com exaustores 18,35 °C e a média da temperatura ambiente foi de 25,54 °C. Assim, ao longo do armazenamento, o silo com sistema de exaustão manteve a temperatura média da massa de grãos 2 °C menor que no silo sem o sistema de exaustão, o que indica melhor conservação e, conseqüentemente, menor condensação de água no período noturno sob a massa de grãos de milho. Ainda, nota-se o melhor equilíbrio da temperatura interna durante o período de armazenagem.

Essa redução da temperatura da massa de grãos deve-se ao princípio de funcionamento do sistema de exaustão que promove constantemente a retirada do ar com temperatura mais elevada do interior do silo pelo processo de convecção natural, e também com auxílio do sistema de aeração para o resfriamento da massa de grãos que é acionado automaticamente quando necessário.

Segundo Kwiatkowski Junior (2011) as variações diárias na temperatura ambiente afetam a temperatura dos grãos localizados a até 15 cm das paredes do silo.

Observa-se na Figura 6A que durante os 60 dias de armazenamento ocorreu a redução do acionamento da aeração no silo com os exaustores, sendo de 183,19 horas, enquanto no silo sem os

exaustores a aeração foi acionada 453,03 horas, resultando em um funcionamento 2,47 vezes menor no silo com o sistema de exaustão. Desta forma, houve uma redução em 59,56% no acionamento do sistema de aeração no silo com os exaustores. Este fato demonstra a eficiência do sistema de exaustão na redução o tempo de aeração para o produto armazenado. Na Figura 6B estão apresentados os valores comparativos do consumo energético do sistema de aeração nos silos com e sem o sistema de exaustão.

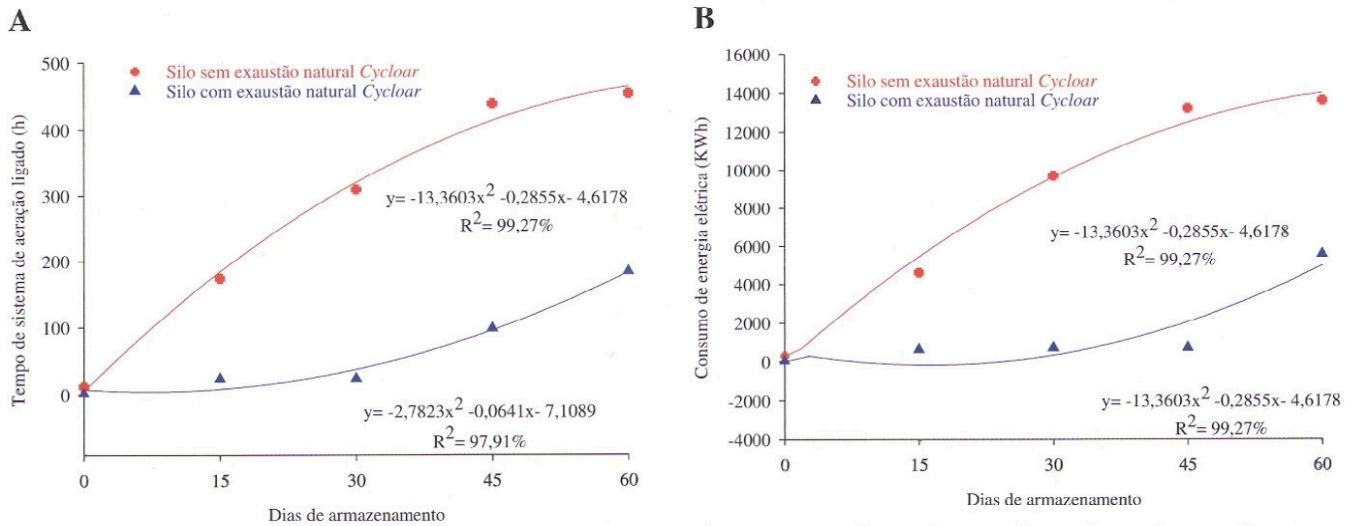


Figura 6. (A) Acionamento acumulado do sistema de aeração (horas), monitorado quinzenalmente; (B) Consumo acumulado de energia elétrica (KWh) nos silos com e sem sistema de exaustão com ar natural *Cycloar* na Unidade Armazenadora da Soagro, município de Rio Verde- GO.

O princípio de funcionamento dos exaustores não requer a utilização de energia elétrica. Assim, na Figura 6B, nota-se que esse fator contribuiu para a redução do consumo acumulado de energia elétrica no sistema de aeração no silo com os exaustores. Considerando o valor do kWh (R\$ 0,175620) durante o período de armazenamento a economia gerada foi de R\$ 1.873,11.

Na Figura 7 estão apresentados os valores médios dos teores de água dos grãos de milho armazenados com e sem sistema de exaustão com ar natural *Cycloar*.

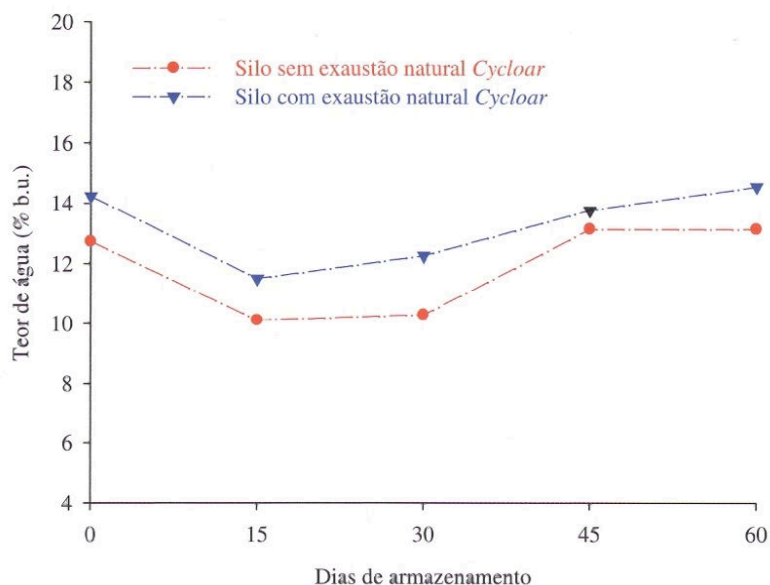


Figura 7. Teores de água para os grãos de milho armazenados em silos com e sem o sistema de exaustão.

Observa-se que os valores de teor de água dos grãos de milho armazenados no silo sem exaustores foram relativamente menores quanto ao silo com os exaustores, esse fato pode ser devido aos lotes armazenados serem diferentes e o maior tempo de acionamento da aeração no silo sem exaustor o que pode proporcionar a secagem dos grãos.

As condições de temperatura e umidade relativa ambientais, e o teor de água inicial do produto, quando associados, são fatores que caracterizam o microclima do ambiente de armazenamento e podem ser determinantes na conservação da qualidade dos grãos pelos processos de ganho ou perda de água, uma vez que os grãos de milhos são materiais higroscópicos.

Menores teores de água nos grãos possibilitam uma melhor manutenção da qualidade do produto, entretanto reduzem a massa do produto e, conseqüentemente, ocorre redução na quantidade comercializada. O teor de água dos grãos e a temperatura do ar no ambiente de armazenamento podem determinar a intensidade de danos por fungos e insetos. Particularmente, sob condições de elevadas umidades relativas, temperatura do ar e alto teor de água, a deterioração ocorre mais rapidamente (RUPOLLO et al., 2006).

Na Figura 8 estão apresentados os resultados de massa específica aparente dos grãos de milho armazenados em silos com e sem exaustores.

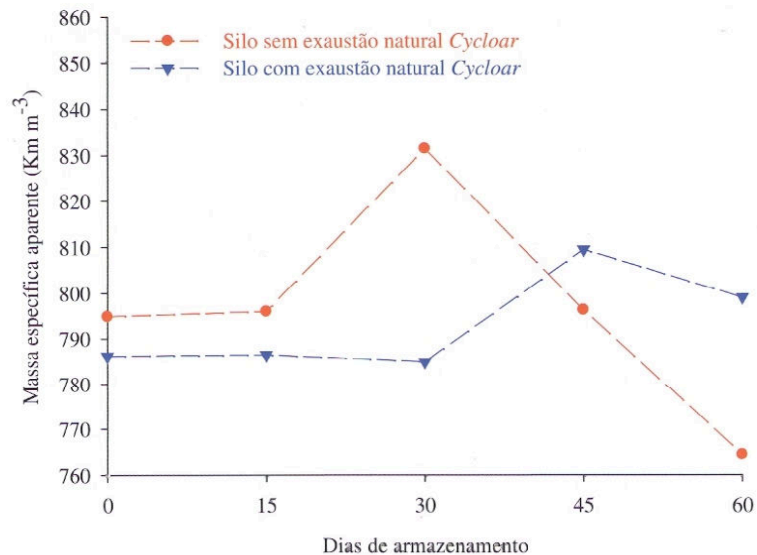


Figura 8. Massa específica aparente dos grãos de milho armazenado em silos com e sem o sistema de exaustão.

Observa-se que a massa específica aparente dos grãos de milho oscilou ao longo do armazenamento. No primeiro mês, a massa específica aparente no silo sem os exaustores foi superior ao silo com o sistema de exaustão. Após esse período, houve uma inversão nos valores, sendo a massa específica aparente maior no silo com os exaustores. Ressalta-se que o teor de água e a respiração dos grãos interferem nos valores da massa específica aparente dos grãos.

Com relação ao grau de infestação, verificou-se um aumento da incidência a partir dos 30 dias de armazenamento para os dois silos testados, sendo encontrados apenas orifícios nas sementes, apresentado valores aos 60 dias de armazenamento de 1,5% de infestação. Esses valores classificam o produto como do Tipo I, conforme a normativa de classificação de grãos.

Segundo relatos dos funcionários da empresa Soagro, ocorreram menores perdas de produto no silo com a presença dos exaustores ao final de dois meses de armazenamento de milho.

CONCLUSÕES

O silo com o sistema de exaustão natural *Cycloar* proporcionou uma redução de 59,56% no acionamento do sistema de aeração, acarretando em economia de energia.

Com o sistema de exaustão houve uma redução de 2 °C na temperatura média da massa de grãos.

Os silos mantiveram ao longo do armazenamento a qualidade dos grãos de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. T. **Simulação da variação de temperatura em milho armazenado em silo metálico**. Viçosa, Minas Gerais: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 174p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), 2001.

American Society of Agricultural Engineers (ASAE). **Moisture measurement -Unground grain and seeds**. ASAE, St. Joseph, 2000. p. 563.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 398p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: van Nostrand Reinhold, 450p. 1992.

CASADA, M.E.; ARTHUE, H.F.; AKDOGAN, H. Temperature monitoring and aeration strategies for stored wheat in the central plains. ASAE Paper n. 026116. St. Joseph: ASAE, 2002.

CYCLOAR. Disponível <<http://www.cycloar.com.br>>. Acesso em 12 /04/ 2012.

GONG, Z.X.; DEVAHASTIN, S.; MUJUMDAR, A.S. A two-dimensional finite element model for kiln-drying of refractory concrete. **Drying Technology**, 13, p.585-605. 1995.

HAGSTRUM, D.W.; REED, C.; KENKEL, P. Management of stored-wheat insect pest. **Integrated Pest Management Review**. v.4, p.127-142. 1999.

JAYAS, D.S.; White, N.D.G.; Muir, W.E. **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker Inc.1995. 756p.

KWIATKOWSKI JUNIOR, J. E. **Simulação e Controle do Sistema de Aeração da Massa de Grãos de Soja**. Ijuí, RS, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul-UNIJUÍ, 232p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática), 2011.

MALLET, A. Disponível URL:
<http://www.agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=3852>.
Acessado em 06 de maio de 2012.

NAVARRO, S.; CALDERON, M. **Aeration of grain in subtropical climates**. Rome: FAO, Agricultural Services Bulletin, n. 52, 119p. 1982.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L. C.; MARTINS, I. R.; ELIAS, M. C. Efeito da umidade e do período de armazenamento hermético na contaminação natural por fungos e a produção de micotoxinas em grãos de aveia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 118-125, 2006.

SAUER, D. B. **Storage of cereal grains and their products**. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615p.

SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F.; DEVILLA, I.A. Aeração de grãos armazenados. In: Silva, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, p.261-277, 2000.