

Controle e automação em unidades armazenadoras¹

Por: Luís César da Silva

Abstract

Control and Automatization in Grain Storage Facility

(AGAIS - Technical Bulletin: AG: 01/2021 - 12/20/2021)

In this extension bulletin is introduced basic knowledge about process control and automatization in the grain storage facility that permits active goals, such as (i) rationalization of the use of monetary, energy, and human resources, (ii) reduction of qualitative and quantitative losses, (iii) mitigation of negative environmental impacts, (iv) reduction of work accidents, and (v) maximization of profits. However, to active these goals efficiently, managers and operators need to have a good level of knowledge about grain storage technologies, as well as the enterprise should deploy Good Grain Storage Practices (GGSP).

Dr. Luís César da Silva – website: www.agais.com

1. Introdução

O sistema unidade armazenadora de grãos deve ser adequadamente projetado, construído e gerenciado para receber, limpar, secar, armazenar e expedir. Para o alcance desses objetivos, o sistema é constituído por estruturas, maquinários e transportadores, que, ao serem operacionalizados, executam processos como: (i) desembaraço documental das cargas recebidas e expedidas, (ii) descarga de produtos nas moegas, (iii) movimentação do produto entre os maquinários e estruturas, (iv) limpeza, (v) secagem, (vi) seca-aeração, (vii) aeração e, ou, resfriamento dos produtos armazenados e (viii) expedição de veículos carregados com produtos limpos e secos.

Para o controle desses processos, práticas gerenciais e operacionais são aplicadas visando valores adequados para as variáveis respostas de natureza qualitativa ou quantitativa. Os parâmetros qualitativos dos grãos são adquiridos no cultivo e devem ser preservados no processamento. Quanto aos parâmetros quantitativos se tem, por exemplo, a mensuração das perdas decorrentes do descarte indevido, a mistura indevida, supersecagem, deterioração fúngica e a infestações de pragas.

O controle de processos fundamenta-se em selecionar variáveis respostas, definir os limites de especificações inferior e superior e atuar nas variáveis de controle. Desse modo, é esperado que as variáveis respostas estejam contidas nos intervalos de especificação; e que preferencialmente concentrem no entorno da média, reduzindo assim a variabilidade.

Exemplo, na secagem de milho pode ser tomada como variável resposta a umidade final do produto ao sair do secador. Nesse caso, poderia ser estabelecido como limite de

¹ Artigo publicando na Revista Grãos Brasil, Ano XVI, nº 94, fevereiro de 2019, p. 15 -19.

especificações inferior e superior, 12,5 e 13,5%, respectivamente. Sendo assim, as práticas gerenciais e operacionais devem ser aplicadas às variáveis de controle, como, por exemplo: a temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem; e o fluxo de produto pelo secador

Em setores industriais, como mecânico, eletromecânico e eletrônico, busca-se controle de processo com baixíssima variabilidade, ditos 6σ (seis sigmas), em que 99,9997% dos valores da variável resposta está contido no intervalo de especificação, assim, as perdas ou falhas limitam a 0,0003%.

2. Fundamentos do controle e automação de processo

Na implementação do controle de processo faz-se necessária a intervenção nas variáveis de controle, e ao automatizar, isso ocorre por meios mecânicos, pneumáticos, elétricos ou eletrônicos.

Mediante a adoção de um *Sistema de Controle e Automação*, devidamente, projetado e operado, obtêm-se benefícios como: (i) racionalização do uso de recursos monetários, energéticos e humano, (ii) redução de perdas qualitativas e quantitativas, (iii) mitigação de impactos ambientais negativos, (iv) redução de acidentes de trabalho, e (v) maximização de lucros.

Na implementação do *Sistema de Controle e Automação*, faz-se necessário: mensurar as variáveis de controle e de resposta; compreender a inter-relação entre essas variáveis; selecionar as variáveis de resposta que passam a ser denominadas variáveis controladas ($y(t)$); definir para cada variável controlada os intervalos de especificação ($r(t)$, “set points”); e selecionar as variáveis de controle ($u(t)$) que impactam determinadas variáveis controladas.

Os *Sistema de Controle e Automação* podem ser de malha aberta ou fechada. Nos de malha aberta, os valores das variáveis de controle ($u(t)$) são pré-definidos e não há retroalimentação quanto aos valores das variáveis controladas ($y(t)$). Desse modo, as variáveis de controle não são ajustadas automaticamente durante o processo.

A operação das máquinas de limpeza é exemplo de circuito de malha aberta, pois, a priori, são definidas a vazão de ar do sistema de aspiração e a frequência de oscilação das caixas das peneiras; no entanto, não há monitoração se o produto realmente, ao sair da máquina, apresenta o teor de impureza desejado, ou se está ocorrendo o descarte indevido de produto.

Quanto ao sistema de controle malha fechada (Figura 01), as variações da variável controlada ($y(t)$) são certificados segundo um intervalo de especificação ($r(t)$) e busca-se minimizar o erro ($e(t)$) atuando sobre as variáveis de controle ($u(t)$). Na minimização do erro

podem ser empregados os métodos de controle: On-OFF, proporcional (P), integral (I), derivativo (D) ou a combinação dos três últimos, denominado controle PID.

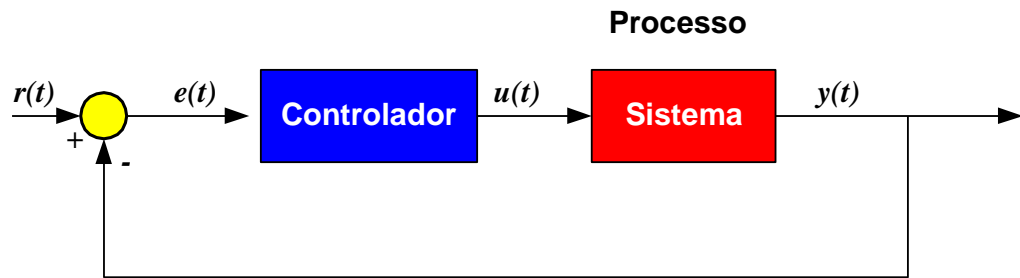


Figura 01 – Sistema de controle de processo em malha fechada.

3. Elementos do sistema de controle e automação

Considerando o emprego de recursos eletrônicos, eletromecânicos e pneumáticos, a configuração do *Sistema de Controle e Automação* apresenta três elementos básicos: (i) sensores – convertem os valores das variáveis de controle e controlada em sinais elétricos; (ii) atuadores – empregam meios eletrônicos, elétricos, hidráulicos e, ou pneumáticos para alterar os valores das variáveis de controle; e (iii) unidade central de processamento (CPU) - processa as informações monitoradas, e por meio de interações lógicas se opta pela intervenção no processo ou sistema por meio dos atuadores.

3.1 Sensores

Em razão da natureza dos processos podem ser utilizados sensores como: de posição, rotação, presença, carga, pressão, temperatura, umidade relativa, vazão, nível de produto e de cor. E esses podem ser classificados em: (a) Sensores ativos: mensuram as variáveis por meio da emissão de energia ao sistema, exemplo: sensores a raio laser e sensores de ultrassom; e (b) Sensores passivos: mensuram as variáveis por meio de energia emanada do ambiente, exemplo: sensores ópticos, sensor magnético, termopares, sensores digitais para temperatura, pressostado e sensores de concentração de gases.

3.2 Atuadores

Os atuadores podem operar utilizando de princípios pneumáticos, hidráulicos, eletrônicos e, ou, elétricos para alterar valores das variáveis de controle. Estruturalmente, os atuadores apresentam-se, como: motores elétricos, válvulas, injetores pneumáticos, bombas, ventiladores, aquecedores, relés eletromecânicos, relés de estado sólido, contadoras, inversores de frequência e braços hidráulicos e braços robóticos.

3.3 Unidade central de processamento - CPU

A unidade central de controle são equipamentos eletrônicos (hardwares) constituídos de interfaces de entrada e saída de dados, memória e o processador que executa operações lógicas programadas por meio de uma linguagem de programação.

A unidade de controle pode se apresentar, por exemplo, como um processador, que é um circuito integrado com velocidade de processamento definida segundo o “clock”. Há casos que esses processadores são embarcados em placas-mãe como as das tecnologias Arduino, Beagleboard e Raspberry (Figura 02), ou em módulos PLC – Controlador Lógico Programável.



Figura 02 – Placas-mãe tecnologias Arduino, Beaglebone e Raspberry aplicadas em sistemas de controle e automação.

4. Aplicabilidades de sistemas de controle e automação em unidades armazenadoras.

Destaca-se, a seguir, exemplos da aplicação de controle e automação em unidades armazenadoras de grãos.

4.1 Controle e automação de fornalhas e secadores

No setor de secagem ocorrem os processos simultâneos e interligados nas fornalhas e nos secadores, desse modo o *Sistema de Controle e Automação* aplica-se a ambos. Tomando por exemplo um secador de fluxos mistos tipo cavaletes pode ser definido com variáveis controladas: temperatura do ar de secagem, temperatura do ar de exaustão, vazão do ar de secagem, velocidade do produto pelo secador e a ordem de descarga do secador.

a) Temperatura do ar de secagem

Para a variável controlada temperatura do ar de secagem, o *Sistema de Controle e Automação* pode ser do tipo malha fechada, em que, segundo o intervalo de especificação, atuadores poderão: regular a abertura das venezianas de entrada de ar ambiente na seção de mistura dos secadores; regular a abertura e entrada de ar primário na fornalha a lenha; e, ou alterar a velocidade da esteira de alimentação de lenha ou cavacos em fornalhas.

b) Temperatura do ar de exaustão

A temperatura do ar de exaustão pode ter o valor alterado mediante: falta de produto na torre de secagem, ocorrência de incêndio na massa de grãos; ou ainda mediante a alterações das condições psicrométricas do ar associadas à evolução do processo de secagem.

No controle da falta de produto na câmara de secagem toma-se por variável de controle o nível de produto no depósito acima da torre de secagem. Assim, caso o nível esteja abaixo do recomendado, o atuador do *Sistema de Controle e Automação* bloqueará o sistema de descarga do secador e disparará aviso sonoro decorrente do aumento da temperatura do ar de exaustão.

O controle de incêndios na massa de grãos em secadores requer em primeiro lugar a adoção das *Boas Práticas de Armazenagem de Grãos (BPAG)*, sendo recomendada a limpeza do produto antes da secagem, principalmente ao utilizar secadores de fluxos mistos, tipo cavaletes. E durante a operação do secador, caso a temperatura do ar de exaustão ultrapasse ao limite de especificação superior e não haja falta de produto na torre de secagem, será disparado um sinal sonoro alertando sobre a eminência de ocorrência de incêndio na massa de grãos.

Nesse caso, para preservar os motores dos ventiladores axiais, o *Sistema de Controle e Automação* poderá desligá-los e acionar os atuadores responsáveis por fechar as entradas de ar primário nas fornalhas, as de entrada de ar ambiente nas seções de mistura e na câmara de resfriamento e abrir o registro da chaminé da fornalha. Caso a fornalha disponha de ventilador para a entrada de ar primário, esse também será desligado.

Quanto à aplicação do *Sistema de Controle e Automação* na condução da secagem, observa-se que no início da secagem a temperatura do ar de exaustão é menor e a umidade relativa maior. À medida que a massa de grãos se torna mais seca, a temperatura do ar de exaustão tende a aumentar e a umidade relativa a reduzir. Sendo assim, adotando essas variáveis como de controle, as variáveis controladas como vazão e temperatura do ar de secagem poderiam ser modificadas com o objetivo de otimizar o rendimento dos secadores, bem como, preservar a qualidade do produto.

c) Vazão do ar de secagem

Em secadores de fluxos mistos tipo cavaletes é definido que 10 a 15% da vazão total do ar de secagem deve passar pela entrada de ar primário da fornalha a lenha, 40% pela seção de mistura e 50% pelas entradas da câmara de resfriamento.

Para garantir esses valores é recomendada a medição da pressão estática em pontos localizados na fornalha e no corpo do secador. Desse modo, adotando-se essas pressões

como variáveis de controle, estas poderiam ser mensuradas por meio de pressostado; e conforme os valores, o *Sistema de Controle e Automação* poderia acionar atuadores para regular as aberturas de entrada de ar localizadas na fornalha, seção de mistura e da câmara de resfriamento.

d) Velocidade do produto pelo secador

Tomando a velocidade do produto como variável controlada, a variável de controle poderia ser a umidade do produto na entrada do secador. Assim, a depender dos valores de referência, os atuadores do sistema poderiam, por meio de inversores de frequência, alterar a rotação do motor do sistema de descarga. Nesse controle, quanto maior a umidade do produto na entrada do secador menor seria a velocidade do produto pela torre de secagem, aumentando assim o tempo de residência.

e) Ordem de descarga do secador

Para controlar e automatizar a ordem de descarga do secador – falso ou verdadeiro - a umidade do produto na base do secador pode ser a variável de controle. Assim, se a umidade estiver acima do limite de especificação superior, o atuador colocará o secador para operar de forma intermitente; caso contrário, o fluxo de produto será direcionado ao setor de armazenagem, ou de expedição.

4.2 Controle e automação da secagem a baixa temperatura

A secagem a baixa temperatura é tradicionalmente utilizada para arroz em casca, que é colhido em média com 20,0% umidade e acondicionado em silos para secagem. Esses silos, dispõem de um a dois ventiladores, aos quais, a depender da região são acoplados queimadores de GLP.

O ar de secagem deve possuir temperatura e umidade relativa que proporcionem a umidade de equilíbrio entre 12 e 13,0%. Desse modo, tomando por variáveis de controle a temperatura e umidade relativa do ar secagem, o *Sistema de Controle e Automação* calculará a umidade de equilíbrio e, se durante a operação, por exemplo, a umidade de equilíbrio estiver acima do limite de especificação superior, o queimador de GLP será acionado com uma determinada intensidade de chama. Por outro lado, se a umidade de equilíbrio estiver abaixo do limite de especificação inferior, primeiro será desligado o queimador de GLP, e caso a situação persista será desligado os ventiladores, para assim evitar a supersecagem do produto.

Vale ressaltar que ao passar pelo ventilador a temperatura do ar é aumentada em média 2 °C.

4.3 Controle e automação da aeração

Quando do armazenamento a aeração pode ser conduzida com as finalidades de manutenção, correção e resfriamento. Independentemente, do propósito, o ar insuflado deve estar em equilíbrio higroscópico com o produto, para que não ocorra a redução da umidade – supersecagem, ou a umidificação do ar intergranular.

No mercado nacional há soluções que permitem, dentre outros fatores, monitorar para silos e graneleiros a temperatura do produto, a temperatura e umidade relativa do ar ambiente e se está ocorrendo precipitação - chuva; além disso, é possível definir os horários de ponta. Essas variáveis são de controle, e como variáveis controladas se têm a ordem de acionamento dos ventiladores (falso ou verdadeiro) e a temperatura e umidade relativa do ar insuflado, que definem a umidade de equilíbrio.

Há avanços nessa área a nível comercial no Brasil ao empregar sensores digitais para medir temperatura do produto e umidade relativa do ar intergranular, com tecnologia “one wire”. Além disso, são utilizadas estações remotas *wireless* para acionamento dos atuadores e obtenção e armazenamento de dados. Esses dados são transmitidos a uma central computadorizada, onde são processados conforme a programação do usuário. E caso necessário, a ordem para acionamento dos ventiladores será transmitida à estação remota de acionamento, Figura 03. Além disso, a central computadorizada é ligada a Internet, permitindo: (i) a conexão a um banco de dados hospedado em nuvens, bem como, (ii) o acesso do usuário, que a distância, poderá, por exemplo, alterar a programação de acionamento dos ventiladores.

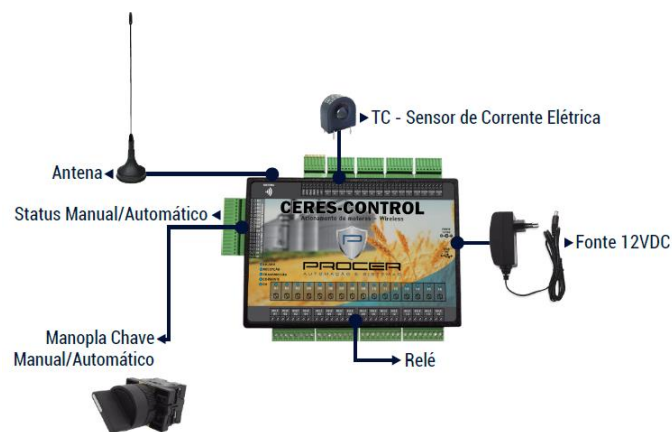


Figura 03 – Estação remota para acionamento e monitoração de até 16 ventiladores.
(Divulgação: Procer Automação e Sistemas)

4.4 Controle e automatização de equipamentos de transporte de grãos

O sistema de transporte de grãos pode ser automatizado, principalmente, quando se usam elevadores de caçambas e transportadores de corrente – redler. Nesse caso, o

Sistema de Controle e Automação permite ao operador, antes de acionar os equipamentos, programar o fluxo a ser executado; e definir os registros a serem abertos e os transportadores a serem acionados. Após certificar se os equipamentos a serem acionados estão logicamente concatenados, o *Sistema de Controle e Automação* disparará alarme para avisar o acionamento dos transportadores, acionará o sistema de captação de pó e colocará os transportadores em operação. Os transportadores serão acionados em série, iniciando do ponto de destino indo até o de origem do fluxo de grãos. Ao final da operação, o *Sistema de Controle e Automação* corta o fluxo de produto no ponto de origem e desligará os transportadores em ordem inversa ao do acionamento.

Outra possibilidade do uso do *Sistema de Controle e Automação* envolve o uso de sensores para: monitoração da temperatura de rolamentos e mancais, medição das velocidades dos transportadores, verificação de alinhamento de correias e correntes nos transportadores, detecção de metais na massa de grãos; e para certificação se o equipamento está operando vazio.

Os valores das variáveis de controle são analisados pelo *Sistema de Controle e Automação* que, por exemplo, poderá interromper o funcionamento da linha de transportadores caso seja constatado anomalias, como excesso de temperatura de rolamentos e, ou, mancais; desalinhamento dos transportadores; ou presença de peças metálicas na massa de grãos.

4.5 Controle e automação de recebimento e expedição de produtos

Por meio da automatização de escritório, empregando redes de computadores e de transmissão de dados, as informações coletadas sobre os fluxos de cargas recebidas e expedidas, bem como suas características, podem ser processadas, armazenadas e transmitidas, tornando-as disponíveis aos gestores e usuários do sistema.

Os dados referentes aos depositantes e às características de suas cargas, como quantidade, umidade, teor de impurezas, padrão de qualidade, massa específica e nível de contaminação por micotoxinas. No processamento dos dados são calculados descontos relativos às quebras de impureza, umidade e de padronização; e se procede à atualização dos estoques de produto a cada recebimento ou expedição. Ao proceder à análise dos dados será possível constatar perdas quantitativas e qualitativas e definir a necessidade de intervenções no sistema.

5. Ponderações finais

O emprego de *Sistemas de Controle e Automação* em unidades armazenadoras traz benefícios; no entanto, o alcance deles está atrelado ao nível de conhecimento das

tecnologias para armazenagem por parte dos gestores e operadores, bem como à adoção das *Boas Práticas de Armazenagem de Grãos (BPAG)*.

Quanto a sofisticções futuras dos *Sistemas de Controle e Automação* aplicados à armazenagem de grãos se dará com embarque de técnicas de modelagem e simulação de operações, como aeração em silo-pulmão, secagem, seca-aeração, aeração e refrigeração de produtos armazenados.

6. Referências

DANO, M., ZANDONADI, R. S., GATES, R. S. *Development of a grain monitoring probe to measure temperature, relative humidity, carbon dioxide levels and logistical information during handling and transportation of soybeans*. Computers and Electronics in Agriculture, v. 119, p. 73 - 82, 2015.

DESAI, P. *Python programming for Arduino*. Packt Publishing Ltd., Birmingham B3 2PB, UK, 2015. 576 p.

JAVED, Adeel. *Building Arduino Projects for the Internet of Things: Experiments with Real-World Applications*. Lake Zurich, Illinois, USA, Apress. 2016. 299 p.

SILVA, L. C.; QUEIROZ; D. M.; FLORES, R. A. e MELO, E. C. *A simulation toolset for modeling grain storage facilities*. Journal of Stored Products Research, v. 48, p. 30-36, 2012.

SILVA, L. C. *Stochastic simulation of the dynamic behavior of grain storage facilities*. 2002. 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SILVA, L. C. *Aeração: suporte a tomada de decisão*. Boletim técnico AG02/17. [Sítio: www.agais.com], Alegre: ES. 2017. 11p.

NAVARRO, S.; NOYES, R. *The mechanics and physics of modern grain aeration management*. CRC Press, 2002. 672 p.

RIBEIRO JUNIOR, J. I. *Métodos estatísticos aplicados ao controle de qualidade*. Viçosa: MG, Editora UFV, 2013. 274 p.