

Controle de Operações em Secadores de Grãos com Redução do Consumo de Recursos Naturais

Lucas Schmidt¹, Mainara C. Lorencena², Marcelo Teixeira³

Resumo.

A produção de soja é uma das principais atividades econômicas da região sul do Brasil, e os esforços para o aumento da produtividade e da qualidade do produto são constantes. Neste sentido, o processo de secagem de grãos se torna fundamental. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle de operações para secadores de grãos, visando garantir os níveis adequados de temperatura e a redução do consumo de recursos naturais além da integração de todos os subsistemas do secador em um único controlador. O gerenciamento dos sistemas é feito através de um Controlador Lógico Programável, e a interface com o operador é realizada por meio de uma tela gráfica sensível ao toque. Um estudo de caso em um secador de fluxos mistos produzido pela empresa Kepler Weber ilustra a abordagem.

Palavras-chave: Automação, Secador de grãos, CLP.

Abstract.

Soybean production is one of the major economic activities in the South of Brazil, and there are constant efforts to increase productivity and product quality. Accordingly, the drying process becomes critical. This paper presents the development of a control and operation system for grain dryers, in order to ensure adequate temperature levels and a reduction in the spend of natural resources, as well the integration of all the subsystems of the dryer into a single controller. The system control of the dryer is done through a Programmable Logic Controller, and the user interface is accomplished through a graphical touch screen. A case study in a mixed flow dryer produced by Kepler Weber Company illustrates the approach.

Keywords: Automation, Grain Dryer, PLC.

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Caixa Postal 571 – 85.503-390 – Pato Branco – PR – Brasil. schmidt.luc@gmail.com.

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Caixa Postal 571 – 85.503-390 – Pato Branco – PR – Brasil. mainaralorencena@gmail.com.

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Caixa Postal 571 – 85.503-390 – Pato Branco – PR – Brasil. marceloteixeira@utfpr.edu.br

1 Introdução

A agricultura tem tido, ao longo dos séculos, um destaque significativo na economia mundial, e o Brasil vem assumindo posição de grande notoriedade nesse segmento. A estimativa de 2017, para a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas, totalizou 240,6 milhões de toneladas, 29,5% superior à obtida em 2016 (185,8 milhões). A estimativa da área a ser colhida é de 75,2 milhões de hectares, apresentando acréscimo de 4,1% frente à área colhida em 2016 (72,2 milhões). O arroz, o milho e a soja são os três principais produtos deste grupo, que, somados, representaram 94,3% da estimativa da produção e responderam por 71,5% da área a ser colhida (IBGE, 2017).

Com o aumento constante da produção, surge a necessidade da modernização e expansão das unidades de armazenamento (WEBER, 1998). Com o objetivo de manter a qualidade do produto, a ação pós-colheita mais importante é a secagem (RIBEIRO, 2005). Este processo consiste na remoção da água contida no produto até que esse atinja um teor de umidade que permita sua armazenagem durante longo período de tempo, sem que ocorra deterioração (WEBER, 2005).

O grão seco, quando processado de maneira controlada, traz diversas vantagens ao sistema produtivo, dentre elas a diminuição do peso e do volume; a facilidade de transporte; a preservação das características organolépticas e nutritivas; dificulta a ação de microrganismos; e agrega um período de conservação mais longo (BORGES, 2002).

Porém, durante o processo de secagem, alguns cuidados operacionais são elementares. Uma secagem muito rápida, por exemplo, pode danificar internamente as sementes, alterando diretamente a sua qualidade. Por outro lado, uma secagem lenta prejudica a eficiência do processo, além de ser uma alternativa propensa a

umentar o consumo de recursos naturais usados nesse processo (WEBER, 1998).

Os modelos mais utilizados para a secagem de produtos agrícolas têm como base o deslocamento do fluxo de ar, geralmente aquecido, através da massa do produto. Na prática, esse procedimento é conduzido por um operador que é responsável por avaliar o andamento do processo e tomar as ações necessárias para assegurar um resultado satisfatório, o que compõe uma alternativa ineficiente e propensa a erros.

A energia empregada na secagem é proveniente da queima combustível, dentre eles a lenha, que tem sido a mais utilizada no Brasil, principalmente devido ao custo inferior quando comparada com outras opções, como o óleo diesel e o GLP (SILVA, 2004), (MAGALHÃES, 2007), (ANP, 2017). Nesse sentido, tem sido recorrente a preocupação com a procedência, manutenção e redução do consumo desse recurso natural como fonte energética. Uma alternativa seria explorar as condições operacionais da secagem, melhorando o controle da temperatura e do fluxo de ar (RODRIGUES, 2010) (WEBER, 1998).

Este artigo desenvolve um sistema de controle para as operações de secadores de grãos, integrando todos os subsistemas do secador em um único controlador. A proposta tende a melhorar o processo, uma vez que identifica e corrige em tempo real os parâmetros do sistema. A integração favorece também a manutenção dos níveis adequados de temperatura. Como consequência, a proposta promove o consumo racional do recurso natural, baseando a queima de combustível nos parâmetros do sistema em tempo real, e não mais na experiência do operador.

Este documento é uma extensão de artigo publicado em conferência (SCHMIDT et al., 2017). Foi desenvolvido maior detalhamento da fundamentação teórica, além de aprofundamento na exposição do sistema proposto.

O restante do documento é assim estruturado: a Seção 2 introduz os conceitos fundamentais acerca do funcionamento dos secadores de grãos e de seus dispositivos de controle, a Seção 3 descreve o sistema proposto, a Seção 4 apresenta o protótipo implementado, a Seção 5 traz as conclusões e a Seção 6 as referências.

2 Secagem de grãos

Neste capítulo são apresentados os princípios de funcionamento dos secadores de grãos, e dos dispositivos utilizados para o controle destes. Será adotado, a fim de exemplificação e também para a realização do estudo, o grão de soja.

2.1 Processo de secagem

Secagem é a operação que tem por finalidade reduzir o teor de umidade do produto a nível adequado a sua armazenagem por um período prolongado (SILVA, 2004). Ou seja, é o processo de transferência simultânea de energia (calor) e massa (água) entre o produto e o ar de secagem, até que haja equilíbrio com o ar ambiente de onde o grão será armazenado, preservando sua qualidade. É uma das primeiras ações pós-colheita, com o objetivo de preservar a qualidade do grão. Entretanto, o processo de secagem possui um custo elevado, tanto para a implantação do sistema como também para a operação, devido à grande quantidade de energia consumida para realizar a secagem (WEBER, 2005).

Sobre a superfície do grão é estabelecida uma camada de ar que constitui um microclima, que possui suas condições de estado reguladas pela temperatura e umidade do produto. Uma das propriedades desse microclima é a umidade relativa. Da mesma forma, o ar que circunvizinha o produto também possui sua umidade relativa, que é definida pelas condições de temperatura e umidade do ar de secagem (SILVA, 2004) (WEBER, 1998).

Dessa forma, o sentido e a intensidade do fluxo de vapor de água, entre o produto e o ar, são estabelecidos de acordo com a diferença dos valores de umidade relativa entre o ar do microclima sobre os grãos, e do ar de secagem que circunvizinha o grão, i.e., $U_{Rg} - U_{Ra}$. O sentido do fluxo de vapor ocorre do ponto com maior umidade relativa para o de menor.

Portanto, para que ocorra a secagem do produto é necessário que a umidade relativa do ar de secagem seja menor que a umidade do grão. Para se reduzir a umidade do ar de secagem este deve ser aquecido.

O processo de secagem ocorre em três etapas conforme ilustra a Figura 1 (SILVA, 2004):

1. O ar de secagem cede calor ao grão, o que faz com que a umidade contida dentro do grão passe para o microclima, assim aumentando a umidade relativa do ar (U_{Rg});
2. Sendo a umidade relativa do ar do microclima maior que a do ar de secagem ($U_{Rg} > U_{Ra}$), ocorre a transferência da umidade presente no microclima para o ar de secagem;
3. Como o ar de secagem transferiu calor para o grão e recebeu dele umidade, sua temperatura diminui e sua umidade relativa aumenta. Esse ar é então exaurido, renovando o ar de secagem e dando continuidade ao processo de secagem do grão.

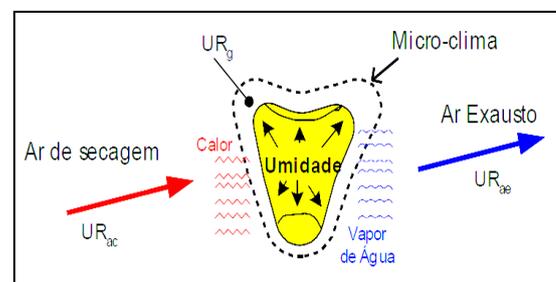


Figura 1: Processo de secagem (SILVA, 2004)

Quanto aos métodos utilizados para a secagem, podem ser classificados conforme o organograma apresentado na Figura 2.

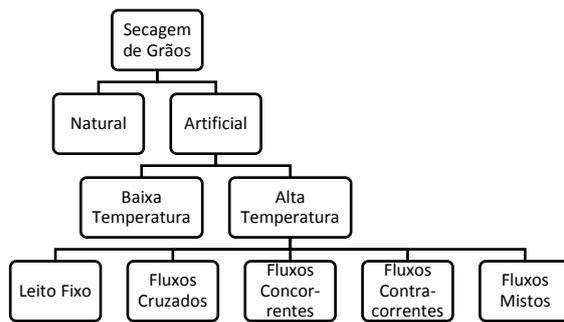


Figura 2: Métodos de secagem

2.1.1 Secagem natural

Este método utiliza o calor do sol e o vento para remover a umidade dos grãos, que são dispostos em eiras ou lonas, como ilustra a Figura 3. Apesar de diminuir a exposição do produto a danos de origem mecânica e térmica, o método é muitas vezes impraticável, por depender de condições climáticas, sendo indicado apenas para lidar com pequenas quantidades de produto.



Figura 3: Secagem natural

2.1.2 Secagem artificial

Este método implica na passagem forçada de ar aquecido artificialmente (por meio de fornalha a lenha ou a gás, geralmente) através da massa do grão que permanece estática. Os métodos de secagem artificial dividem-se inicialmente em função da temperatura de secagem.

2.1.2.1 Secagem de baixa temperatura

Neste método o ar de secagem não ultrapassa em mais de 10°C a temperatura

ambiente. Enquadram-se nesta modalidade os silos armazenadores providos de sistema de ventilação forçada, conforme ilustra a Figura 4.

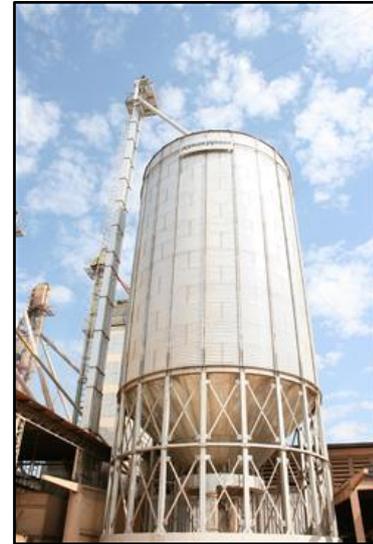


Figura 4: Silo (KEPLER WEBER⁴)

2.1.2.2 Secagem de alta temperatura

Neste método, a temperatura de secagem ultrapassa em mais de 10°C a temperatura ambiente, podendo chegar a temperaturas superiores a 100°C, dependendo do tipo de produto a ser seco. Nesta modalidade os sistemas são classificados por dois parâmetros, primeiro de acordo com os sentidos do fluxo de ar e da massa de grãos: leito fixo, fluxos cruzados, fluxos contracorrentes, fluxos concorrentes e fluxos mistos. E, segundo, em função da forma de funcionamento podem ser classificados em contínuos e intermitentes.

2.1.2.2.1 Secadores de leito fixo

Neste sistema, a camada de grãos que deve ser seca permanece estática. O ar de secagem é aquecido através de uma fornalha e empurrado para a câmara de secagem por um ventilador, conforme ilustra a Figura 5. A câmara de secagem possui uma capacidade estática de aproximadamente 5 toneladas.

⁴ <http://www.kepler.com.br>.



Figura 5: Secador de leito fixo (FRAMA MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS⁵)

2.1.2.2.2 Fluxos cruzados

Neste sistema, o ar de secagem e os grãos se cruzam com um ângulo de 90 graus na câmara de secagem. Com o objetivo de homogeneizar o teor de umidade na massa de grãos, é feita a inversão de lado das colunas da primeira para a segunda câmara de secagem, conforme mostra a Figura 6. Isto porque o produto que está mais próximo da entrada do ar de secagem fica mais aquecido e, conseqüentemente, com menor teor de umidade.

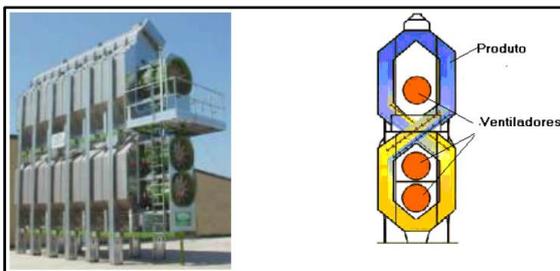


Figura 6: Secador de fluxos cruzados (SILVA, 2005)

2.1.2.2.3 Fluxos contracorrentes

Os fluxos do ar de secagem e de grãos ocorrem em sentidos contrários, nestes secadores. A massa de grãos segue no sentido da gravidade, e o ar de secagem no sentido ascendente. O sistema típico destes secadores é mostrado na Figura 7. São

compostos por um silo com fundo perfurado, sistema de aquecimento, ventilador e sistema de movimentação de grãos. A frente de secagem permanece junto ao fundo, à medida que ocorre a secagem a camada de grãos seca é transportada para silos armazenadores ou é depositada na parte superior da massa de grãos. Um termostato é utilizado para acionar o sistema de movimentação de grãos.

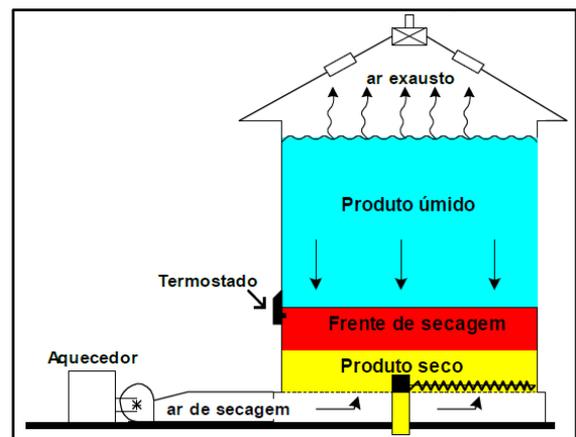


Figura 7: Secador de fluxos contracorrentes (SILVA, 2005)

2.1.2.2.4 Fluxos concorrentes

Nesse método de secagem, os fluxos de grãos e de ar são no mesmo sentido de deslocamento. São providos de uma torre de secagem, com múltiplos estágios de secagem em descanso e circuitos de reaproveitamento do ar. O funcionamento deste secador é ilustrado na Figura 8.

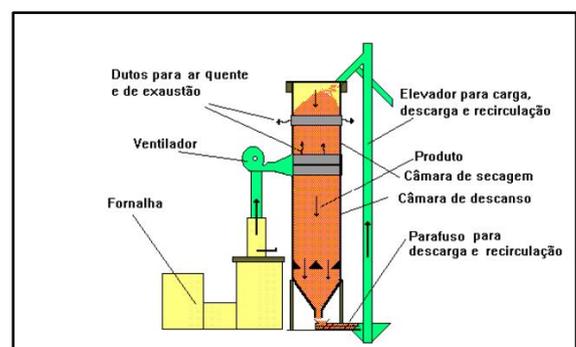


Figura 8: Secador de fluxos concorrentes (Métodos de determinação de Umidade⁶)

⁵ <http://framamaquinas.blogspot.com.br/2011/03/secador-de-leito-fixobarcaacam.html>.

⁶ <http://dc151.4shared.com/doc/oTsSpuRc/preview.html>.

Para que se obtenha o resultado esperado no processo de secagem, é conveniente que os grãos sejam dispostos de uma forma tal que favoreça o fluxo de ar aquecido pela massa de grãos.

2.2 Secadores de fluxos mistos

Este modelo é o mais utilizado nas unidades de armazenamento brasileiras, encontrado comercialmente com capacidades de secagem de 15 a 250 toneladas por hora. São constituídos por uma torre central montada pela superposição vertical de *caixa dutos*. Uma caixa duto é formada por dutos montados em uma fileira horizontal. A Figura 9 mostra o esquema de funcionamento deste tipo de secador.

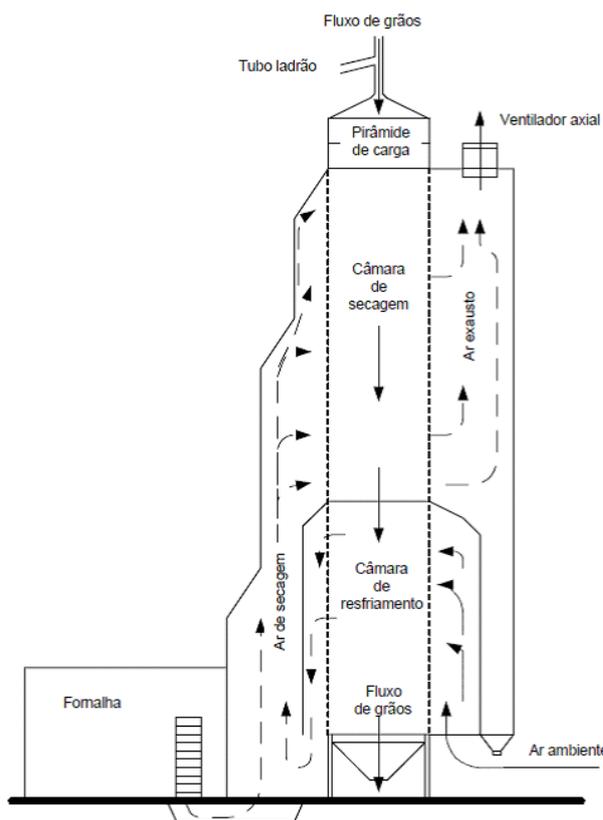


Figura 9: Secador de fluxos mistos (SILVA, 2004)

A câmara de secagem ocupa cerca de 2/3 da torre do secador. O ar de secagem entra pelo lado esquerdo a uma temperatura que varia de 60 a 100°C, e segue o seu fluxo pelo lado direito saindo pelos exaustores. O ar sai com uma temperatura de aproximadamente

7°C acima da temperatura ambiente. O 1/3 inferior da torre do secador é destinado à câmara de resfriamento, que tem a função de retirar o calor excedente da massa de grãos deixando-a com uma temperatura próxima da ideal para a armazenagem.

2.3 Fornalha

A fornalha é a parte do secador destinada à queima completa de lenha, garantindo o aproveitamento da energia térmica liberada da combustão, com o melhor rendimento possível. A arquitetura de uma fornalha se estrutura como mostra a Figura 10, tal que:

- 1: Porta para carregamento;
- 2: Entrada de ar primário;
- 3: Câmara de combustão – primeiro estágio;
- 4: Grelha;
- 5: Câmara de combustão – segundo estágio;
- 6: Câmara de combustão terceiro estágio;
- 7: Misturador tangencial – quebra chamas;
- 8: Duto de saída (tiragem superior);
- 9: Porta de remoção das cinzas;
- 10: Chaminé.

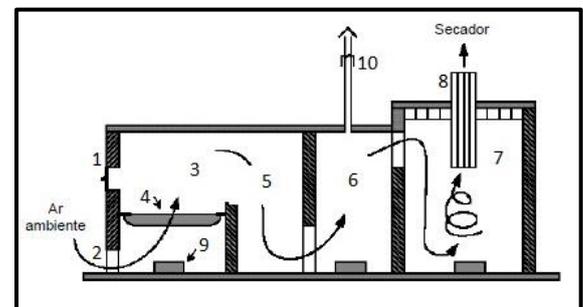


Figura 10: Partes de uma fornalha (MAGALHÃES, 2007)

As fornaldas são constituídas dos seguintes subsistemas:

- *Câmara de combustão:* é o espaço onde ocorre efetivamente a queima do combustível, no qual todos os compostos combustíveis devem ser oxidados liberando energia térmica;
- *Grelha:* estrutura que mantém o combustível sólido suspenso durante o processo de combustão, geralmente feita com ferro fundido. Permite a circulação do ar comburente bem como a passagem das cinzas para o cinzeiro;

- *Cinzeiro*: depósito localizado abaixo da grelha, onde ficam armazenados os resíduos da combustão (cinzas);
- *Entradas de ar*: permitem a passagem do ar comburente para o interior da fornalha. As entradas de ar devem ser reguláveis e localizadas em pontos estratégicos da fornalha, permitindo a mistura do combustível com o comburente;
- *Saída dos gases*: é feita na forma de uma ou mais chaminés, permitindo que os gases resultantes do processo de queima do combustível sejam exauridos para o ambiente;
- *Sistema de alimentação*: o combustível pode ser alimentado manualmente ou de modo automático. Em fornalhas a lenha, a alimentação se dá por meio de uma abertura na câmara de combustão, por onde o combustível é disposto sobre a grelha.

2.4 Alimentador automático de lenha

Os alimentadores automáticos de lenha para fornalha são esteiras movidas por um motor elétrico, que lançam a lenha dentro da câmara de combustão. A Figura 11 mostra uma foto de um secador provido de alimentador automático de lenha.



Figura 11: Alimentador automático de lenha

O sistema conta com um quadro de comando para a operação do alimentador. Este quadro possui dois modos de operação:

Manual e Automático, selecionados através de uma chave. Se a chave de seleção estiver no modo manual, o acionamento do motor elétrico que movimenta a esteira é realizado acionando um botão de impulso.

No modo automático, o acionamento da esteira é feito através de um controlador eletrônico que, com base em uma temperatura de referência, faz o acionamento do alimentador.

Esse sistema considera a leitura de apenas um sensor para determinar o acionamento da esteira, lançando na fornalha uma quantidade predeterminada de lenha. Além de permitir que, em regime de operação, o alimentador seja acionado manualmente, gerando consumo desnecessário do recurso natural.

No sistema proposto, com a integração dos subsistemas, pretende-se fazer com que a decisão de alimentar a fornalha ou não, e com que quantidade de lenha, seja definida com base em mais informações. Deve-se também impedir o acionamento manual da esteira quando em operação.

3 Sistema proposto

Como visto nas seções anteriores, no sistema atual, os módulos de controle operam separadamente e com acionamento independente, sem considerar o estado dos demais equipamentos. Essa condição deixa o sistema vulnerável, uma vez que fica dependente da supervisão e intervenção do operador.

Nesse sentido, o sistema proposto consiste, basicamente, na centralização do controle do secador em um único dispositivo, implementando métodos de controle mais eficazes, simplificando a operação do sistema, e assim minimizando a possibilidade de falhas. Com a integração dos subsistemas e a utilização de um CLP (Controlador Lógico Programável) para o processamento, é possível bloquear a ocorrência de situações indesejadas, condicionar a operação dos subsistemas, emitir relatórios, alertas sonoros, além de

tornar o sistema mais robusto. A provisão de uma interface gráfica torna a interação com o sistema mais amigável, e permite a emissão de mensagens de alarmes e falhas. Um sistema supervísório viabiliza o monitoramento remoto do processo.

A Figura 12 apresenta o fluxograma geral de funcionamento do sistema proposto.

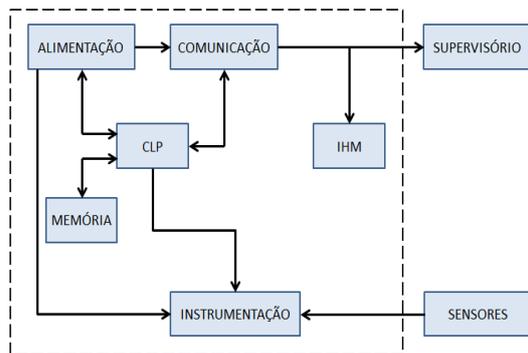


Figura 12: Fluxograma geral de funcionamento

A alimentação do equipamento é trifásica, na tensão de 380 V / 60 Hz. A interface com o operador é realizada através de uma IHM (Interface Homem Máquina) *touch screen*, além de um supervísório, através do qual é possível acessar o sistema de um computador remoto.

A comunicação entre CLP, IHM, inversores de frequência e supervísório é realizada através do protocolo *Modbus*, utilizando como meio físico uma rede Ethernet e serial RS485. Os principais dados de operação do sistema, como, por exemplo, as temperaturas e os horários de acionamento dos motores, são armazenados em um cartão de memória.

As principais variáveis de entrada do sistema são:

- Botões de comando;
- Sensor de nível máximo do produto no secador;
- Sensor de nível mínimo do produto no secador;
- Confirmação do acionamento dos motores;
- Contatos de falhas dos motores;

- Sinal de bloqueio da descarga do secador;
- Sensores de temperatura
- Sensores de pressão e umidade (opcionais);
- Botões de emergência.

Os sistemas a serem controlados são:

- Alimentador automático de lenha;
- Ventilador de combustão;
- Descarga;
- Veneziana da fornalha.

3.1 Controlador lógico programável

Dentre as principais características de um CLP, destacam-se para essa aplicação a modularidade e possibilidade de expansão, a alta confiabilidade, a imunidade a ruídos e interferências, a isolamento elétrico entre as entradas e saídas e a capacidade de operação em condições ambientais severas (SIEMENS, 2013).

O CLP escolhido é o CLP SIEMENS, série SIMATIC S7 1200, modelo CPU1214C. Este CLP possui característica modular e tem quatorze entradas digitais, duas entradas analógicas e dez saídas digitais a relé (SIEMENS, 2013).

O software utilizado para o desenvolvimento do programa do CLP é o *Step 7*, presente no TIA (*Totally Integrated Automation*) da SIEMENS. A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do projeto é a linguagem *Ladder*.

3.2 Interface homem máquina

A IHM escolhida para o desenvolvimento do sistema é a Weintek MT8070iE (WEINTEK, 2013). Esta é composta por um display sensível ao toque, colorido, de alta resolução e de 7 polegadas. Possui interfaces seriais, USB e Ethernet, com arquitetura baseada em PCs especialmente projetada para ambientes industriais.

O software da IHM é baseado no sistema operacional Linux e utiliza uma ferramenta de desenvolvimento gratuita que permite a construção de telas com animações, gráficos, alarmes e ainda reproduzir arquivos de áudio e vídeo. O pacote de software oferece ainda um simulador para depuração dos projetos no PC sem a utilização de uma IHM física.

O programa da IHM foi desenvolvido utilizando a ferramenta *EasyBuilder*. A Figura 13 mostra a tela principal do sistema desenvolvido.



Figura 13: Tela principal da IHM

3.3 Sensores

Em secadores de grãos, são basicamente duas as grandezas a serem mensuradas: temperatura e nível.

O sensor comumente utilizado nos secadores para medir temperatura é o termopar tipo K, que é composto pela junção Chromel (Ni90%Cr10%) e Alumel (Ni95%Mn2%Si1%Al2%). Este termopar pode ser utilizado para a leitura de temperaturas de -270 a 1200 °C, e possui uma sensibilidade de aproximadamente 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Para o sensoriamento de nível de grãos, destaca-se o sensor de nível rotativo, devido a seu grande emprego em unidades de beneficiamento de grãos. O sensor de nível rotativo é mostrado na Figura 14 (NBRtec, 2016).



Figura 14: Sensor de nível rotativo. (NBRtec⁷)

3.4 Instrumentação

Para a realização da leitura dos sensores de temperatura, utilizou-se o módulo Transmissor TxRail (NOVUS, 2014), juntamente com um circuito multiplexador, mostrados na Figura 15.



Figura 15: Aquisição de temperatura

Este módulo realiza a conversão do sinal recebido do termopar em um sinal proporcional de 0 a 20 mA, que é lido por uma entrada analógica do CLP. O sinal dos quatro termopares passa por um

⁷ <http://www.nbrtec.com.br/site/>.

multiplexador, e as leituras de cada sensor são tratadas através do software.

3.5 Comunicação

Nesta aplicação, o protocolo de comunicação utilizado para estabelecer a troca de dados entre CLP, IHM, inversores de frequência e supervisor é o *Modbus*. O modelo de comunicação *Modbus* é do tipo mestre/escravo, ou seja, um dispositivo mestre fará as requisições e terá prioridade de uso do barramento e um ou mais dispositivos escravos, apenas utilizarão a rede quando solicitados, isto é, em resposta às solicitações do mestre. Todas as requisições são feitas através de códigos de funções, são estes códigos que caracterizam o protocolo *Modbus*.

O meio físico para a realização da comunicação, pode ser visualizado na Figura 16.

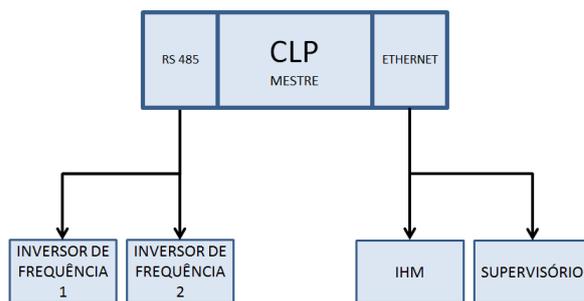


Figura 16: Comunicação

A velocidade de transmissão de dados pode ser superior a 10 Mbps para a RS 485, e superior a 100 Mbps para a Ethernet, em alguns casos, com redução proporcional da velocidade com o aumento do comprimento da rede (TEXAS INSTRUMENTS, 2014; LUGLI *et al.*, 2009). Porém, para essa aplicação não são exigidas elevadas taxas de transmissão de dados. Assim, são mantidos valores intermediários.

4 Protótipo

Vencidas as etapas de desenvolvimento de software e hardware, o projeto foi implementado. O protótipo do quadro de comando foi montado em um painel de 600x800x200mm. A Figura 17 mostra o protótipo em fase de montagem.



Figura 17: Protótipo em fase de montagem

O painel que abriga os equipamentos conta com grau de proteção IP66, ou seja, possui proteção total contra penetração de poeira e contato com a parte interna, além de proteção contra jatos potentes de água.

O custo aproximado dos componentes utilizados para o protótipo foi de R\$ 8000,00. Após a etapa de testes, o protótipo será convertido em produto, e produzido pela empresa conforme demanda. O preço final de venda do painel, juntamente com os sensores, será aproximadamente 80% maior que o sistema atual. Estima-se que tal aumento do custo para o cliente final seja rapidamente amortizado, devido a independência atribuída ao processo, além da redução do consumo de lenha.

Com o objetivo de verificar o funcionamento do equipamento, foram realizados os testes preliminares. A Figura 18 mostra o quadro sendo testado em bancada.



Figura 18: Protótipo em fase de testes

Inicialmente, verificou-se o funcionamento individual de cada subsistema do painel, como a comunicação com os inversores de frequência e com a interface, a leitura das temperaturas, o acesso aos dados através da rede *Modbus*, e a gravação dos dados no cartão de memória. Após esta etapa, iniciaram-se os testes relacionados ao controle dos sistemas do secador, ou seja, controle do alimentador de lenha, descarga de produto, veneziana da fornalha e ventilador de combustão.

O sistema foi simulado a fim de verificar o seu comportamento sob controle antes da implementação sobre o sistema real. O comportamento simulado se mostrou em conformidade com o conjunto de especificações.

5 Conclusões

Esse artigo propôs um sistema de controle para secadores de grãos que disponibiliza todas as ações automáticas de controle em um único equipamento, um CLP. Essa centralização favorece a eficiência do esquema de atuação, uma vez que o CLP possui um comportamento essencialmente reativo, que em geral impõe um *overhead* de comunicação substancialmente inferior ao tempo da ação física dos atuadores,

tornando esse atraso irrelevante na prática. Ademais, o controle automático centralizado tende a reduzir a probabilidade de erros operacionais causados pela ação humana, pois as principais decisões de atuação passam a se pautar em sequências lógicas pré-projetadas em nível de engenharia, as quais independem da vontade do operador, melhorando a qualidade do sistema sob controle.

Outro aspecto a ser mencionado é que o controle adequado do carregador automático evita o desperdício de lenha, já que promove a uniformidade do carregamento, na quantidade e nos tempos necessários para manter os níveis desejados de temperatura.

Ainda, argumenta-se em relação à escolha pelo uso do CLP como recurso de hardware. Note que o ambiente de operação dos equipamentos de secagem é, em geral, insalubre, caracterizado pela má qualidade de energia elétrica, interferências mecânicas, vibrações, poeira, etc. Nesses casos, a adoção de um CLP passa a ser uma escolha natural, pois esse tipo de dispositivo é dotado de recursos que minimizam os efeitos decorrentes de condições adversas. De fato, a robustez de um CLP decorre de seu encapsulamento, imunidade a sujeira e ruídos, pequenos distúrbios de tensão, etc.

Em termos de operação, a interface do sistema se mostra bastante intuitiva, o que torna o sistema de fácil operação. A comunicação via protocolo *Modbus*, funcionou satisfatoriamente e possibilitou o compartilhamento dos dados de forma ágil.

Foram ainda implementados no sistema, tanto no software quanto no hardware, medidas de segurança que tendem a diminuir os problemas relacionados a erros de operação e acidentes de trabalho.

6 Referências

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural, e Biocombustíveis, *Série Histórica*

- do Levantamento de Preços e de Margens de Comercialização de Combustíveis*, (2017). <http://www.anp.gov.br/wwwanp/>, Dezembro.
- BORGES, P. A. P. *Modelagem dos Processos Envolvidos nos Sistemas de Secagem e Armazenamento de Grãos*, (2002). Tese, (Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS).
- IBGE, *Indicadores IBGE - Estatísticas da produção agrícola*, (2017). [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201712.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201712.pdf), Dezembro.
- LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D.;FRANCO, L. R. H. R. *Redes Ethernet Industriais: Visão Geral*, (2009). Artigo Publicado na Revista C & I: Controle & Instrumentação, nº149, 2009.
- MAGALHÃES, E. A. *Desenvolvimento e análise de uma fornalha para aquecimento direto e indireto de ar utilizando biomassa polidispersa*, (2007). Tese, (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG).
- NBRTEC, *Indústria de Equipamentos Elétricos Ltda.* www.nbrtec.com.br/site/.
- NOVUS. *Manual Instruções V1.2x D. Transmissor de temperatura TxRail 4-20 mA*, (2014).
- RIBEIRO, D. M. *Análise da Variação das Propriedades Físicas dos Grãos de Soja Durante o Processo de Secagem*. Artigo Publicado na Revista: Ciência e Tecnologia de Alimentos 25(3), julho de 2005, p. 611 – 617.
- RODRIGUES, C. L. C. *Desenvolvimento de um Sistema Automático para um Secador de Produtos Agrícolas*, (2010). Tese, (Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade de Viçosa, Viçosa, MG).
- SIEMENS, *SCE Training Curriculum for Integrated Automation Solutions: Totally Integrated Automation (TIA) SIMATIC S7-1200*. 2013.
- SCHMIDT. L.; LORENCENA, M. C.; TEIXEIRA, M. *Controle de Operações em Secadores de Grãos com Redução do Consumo de Recursos Naturais*, (2017). Anais do congresso: Computer on the Beach, maio de 2017, p. 170 -179.
- SILVA. L. C. *Secagem de Grãos*, (2005). Artigo Publicado na Revista: Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano III, nº XIV, maio de 2004, p. 10 -14.
- TEXAS INSTRUMENTS. *RS485 Reference Guide*, (2014). <http://www.ti.com/lit/sg/slyt484a/slyt484a.pdf>. Janeiro.
- WEBER, E. A. *Armazenagem agrícola*, (1998). 2. ed., Porto Alegre: Kepler Weber, 400p.
- WEBER. E. A. *Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos*, (2005). Canoas: Salles.
- WEINTEK, *EasyBuilder Pro User Manual*. V. 4.10.01. 2013.